

Л. С. ЦЕЙТЛИН



УКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ
ОСНОВАМ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Л. С. Цейтлин

**РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ
ОСНОВАМ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**ДОПУЩЕНО МИНИСТЕРСТВОМ ВЫСШЕГО И
СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ДЛЯ
УЧАЩИХСЯ ТЕХНИКУМОВ**



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1977

6П2.1
Ц 32
УДК 621.3(075)

Рецензенты: начальник отдела ЦНИТИ ЕВДО-
КИМОВ Ф. Е.; преподаватель Всесоюзного элек-
тромеханического техникума КАЛИНИН И. М.

Ц $\frac{30306-227}{001(01)-77}$ 264—76

© ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА», 1977 г.

Предисловие

Лабораторный практикум по теоретическим основам электротехники способствует более глубокому и детальному изучению предмета, готовит учащихся к практической деятельности в цехах и заводских лабораториях.

Первая глава настоящего пособия содержит указания по подготовке к лабораторной работе, методике ее выполнения, технике безопасности и правила оформления отчета.

Во второй главе приведены описания тридцати лабораторных работ, из них двадцать соответствуют программе курса «Теоретические основы электротехники», утвержденной в 1973 г., и девять — программе, утвержденной в 1965 г. Предметная комиссия техникума вправе выбрать по своему усмотрению те лабораторные работы, которые сочтет наиболее целесообразными.

В каждой работе даны теоретическая часть, сведения о необходимых приборах и аппаратах, программа работы, таблицы. В конце работы приведены десять вопросов для самопроверки.

В третьей главе к каждой лабораторной работе даны пять вопросов и на каждый вопрос — пять программированных ответов. Они помогут преподавателю проконтролировать знания учащихся по каждой лабораторной работе.

Четвертая глава предназначена для преподавателей и сотрудников лабораторий. В ней освещается методика лабораторного занятия, предлагаются различные типы стендов, даются рекомендации по организации лабораторий.

Глава I

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

§ 1.1. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы являются одним из видов практического обучения. Их цель закрепить теоретические знания, проверить на опыте некоторые положения теории и законы электротехники, приобрести практические навыки в сборке электрических цепей, в проведении эксперимента, научить пользоваться простейшими электроизмерительными приборами и аппаратами.

Вдумчивое отношение к лабораторной работе позволит учащемуся сделать правильные выводы, проанализировать результаты опытов, научиться самостоятельно разрешать некоторые несложные задачи исследовательского характера.

Задание на очередную работу выдается за несколько дней до ее выполнения.

Чтобы качественно выполнить лабораторные работы, учащимся необходимо тщательно подготовиться к ним:

1) повторить теоретический материал по конспекту и по учебнику (см. список литературы), параграфы которого указаны в начале каждого описания лабораторной работы;

2) ознакомиться с описанием лабораторной работы. В специальной рабочей тетради записать название и номер работы, вычертить таблицы для записи показаний приборов и результатов расчета, подготовить миллиметровую бумагу, если требуются графические построения;

3) выяснив цель работы, четко представить себе поставленную задачу и способы ее достижения, продумать ожидаемые результаты опытов;

4) сделать предварительный домашний расчет, если требуется в задании;

5) ответить устно или письменно на контрольные вопросы.

§ 1.2. ОЗНАКОМЛЕНИЕ И ПОДБОР ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АППАРАТОВ

Прежде чем приступить к сборке электрической цепи, следует выбрать необходимые приборы и аппараты. В описании каждой лабораторной работы приводится порядок проведения опыта и перечень необходимой аппаратуры. При подборке приборов нужно учитывать их тип, номинальное значение, род тока, класс точности.

Следует иметь в виду, что каждый, даже самый лучший прибор, имеет некоторую погрешность измерения. По степени точности приборы делят на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4, причем самый точный прибор имеет класс 0,05. Погрешность тем меньше, чем ближе измеряемая величина к номинальному значению прибора. Поэтому предпочтительно использовать такие приборы, у которых во время измерения стрелка будет находиться во второй половине шкалы.

Включение измерительных приборов в цепь часто вызывает заметное изменение силы тока, некоторых напряжений, мощностей и т. д. Это объясняется тем, что у амперметров, например, внутреннее сопротивление недостаточно мало, а у вольтметров сопротивление недостаточно велико.

Включение таких приборов иногда сказывается на распределении токов по отдельным ветвям, на величине падения напряжения, на мощности и т. д. Однотипные приборы имеют одинаковое сопротивление, поэтому их использование в цепи предпочтительнее. Для более точных измерений необходимо учитывать сопротивления приборов и вносить поправки в измеренные величины. В этом случае применяют более точные, переносные приборы, на шкалах которых указано внутреннее сопротивление или полный ток отклонения подвижной системы, а иногда падение напряжения на приборе при номинальной силе тока. Приборы магнитоэлектрической системы используют только для измерения на постоянном токе, а приборы электромагнитной, электродинамической, электронной систем могут работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Прежде чем приступить к измерениям, нужно выяснить цену деления прибора, которую можно подсчитать двумя способами.

Первый способ (более простой) применяют, если на шкале прибора имеются цифры, которые означают измеряемые величины. В этом случае частное от деления разности двух ближайших оцифрованных значений на число делений между ними дает искомую величину:

$$C = \frac{A_n - A_{n-1}}{N}.$$

Например, амперметр электромагнитной системы имеет оцифрованные деления: 0, 1, 2, 3, 4, 5 А. Между отметками 3 и 4 нанесено четыре риска, т. е. пять делений, при этом цена одного деления

$$C_I = \frac{4 - 3}{5} = 0,2 \text{ А/дел.}$$

Между отметками 1 и 2 только одна риска, т. е. два деления, в этом случае цена деления

$$C_I = \frac{2 - 1}{2} = 0,5 \text{ А/дел.}$$

Второй способ применяют, если прибор многопредельный. Цену деления рассчитывают как частное от деления предела, указанного на переключателе, на число делений, обозначенное цифрой в конце шкалы:

$$C_I = A_n / N.$$

Например, вольтметр двухпредельный электромагнитной системы имеет 150 делений и пределы измерения напряжения 150 и 300 В. В этом случае цена деления для предела 150 В

$$C_U = U_n / N = 150 / 150 = 1 \text{ В/дел,}$$

а для предела 300 В

$$C_U = 300 / 150 = 2 \text{ В/дел.}$$

Несколько сложнее обстоит дело с многопредельными ваттметрами. Мощность потребителя определяется по формуле

$$P = UI,$$

т. е. ваттметр должен фиксировать напряжение потребителя и его силу тока. В связи с этим измерительный механизм ваттметра имеет две обмотки: токовую (последо-

ваттную) и обмотку напряжения (параллельную). На рис. 1.1 изображена схема соединения, а на рис. 1.2 — принципиальная схема включения ваттметра. Звездочкой отмечены генераторные зажимы, которые обычно соединяются между собой проводником и подключаются к сети.

Прибор рассчитан на два предела по току, для чего имеются две соответствующие клеммы, и несколько пре-

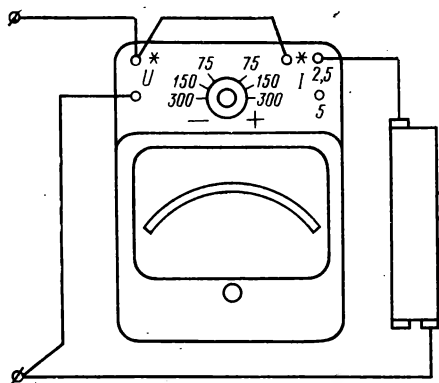


Рис. 1.1

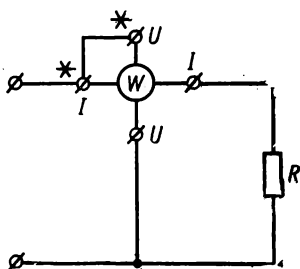


Рис. 1.2

делов по напряжению, для которых служит специальный переключатель.

Цена деления ваттметра равна произведению пределов напряжения и силы тока, деленному на число делений:

$$C_p = U_n I_n / N.$$

Например, ваттметр электродинамической системы имеет пределы измерения по току $I_n = 2,5—5$ А, а по напряжению $U_n = 75—150—300$ В и число делений $N = 150$. Определить цену деления при работе прибора на больших пределах можно по формуле:

$$C_p = U_n I_n / N = 300 \cdot 5 / 150 = 10 \text{ Вт/дел.}$$

При неправильном присоединении ваттметра его стрелка может отклониться влево от нулевой отметки.

Чтобы избежать этого, следует устранить ошибку, допущенную при сборке цепи, или переключатель полярности, специально предусмотренный в ваттметре и часто совмещенный с переключателем пределов, поставить в положение «минус».

Для записи кривых быстро изменяющихся электрических величин применяют электронный осциллограф. Правила эксплуатации осциллографа даны в описании лабораторной работы № 16.

Как в производственных испытаниях, так и в учебных опытах необходимо в отчете фиксировать используемые измерительные приборы. Следует записывать их название, номинальную величину, тип, род тока, частоту, класс точности, принцип действия (систему), способ установки и заводской номер. Это позволяет, если возникает потребность, повторить опыт с теми же приборами и проверить правильность полученных результатов.

Точно так же нужно фиксировать технические характеристики аппаратов: сопротивление и допускаемую силу тока реостатов, номинальную мощность и напряжение электрических ламп, паспортные данные исследуемого электродвигателя и т. д.

Приведенная табл. 1.1 является образцом заполнения таблиц в отчете.

Таблица 1.1

Наименование прибора	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр	Э377	1	3 А, класс точности 1,5, электромагнитная система, № 680047
Ваттметр	Д566	1	5—10 А, 75—150—300 В, класс точности 0,2, электродинамическая система, № 329605
Реостат	РПШ-5	1	15 Ом, 5 А
Магазин сопротивлений	Р34	3	Класс точности 0,1, 100×9 Ом, № 642971, 642973, 642974

В табл. 1.2 показаны графические изображения некоторых наиболее часто встречающихся элементов (ГОСТ 2.721—74 и ГОСТ 2.728—74 и ГОСТ 2.755—74).

Таблица 1.2

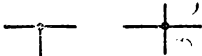
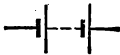
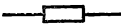
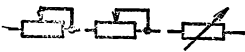
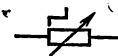
Наименование	Обозначение
Линия электрической связи	
Соединение электрическое разъемное.	
Ответвление линии электрической связи	
Заземление	
Линия электрической связи, осуществляемая гибким проводом	
Элемент гальванический или аккумуляторный	
Батарея из гальванических или аккумуляторных элементов	
Генератор переменного тока	
Генератор постоянного тока	
Резистор нерегулируемый	
Резистор регулируемый (реостат)	
То же, но со ступенчатым регулированием	

Таблица 1.2 (продолжение)

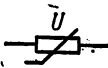
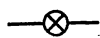
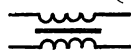
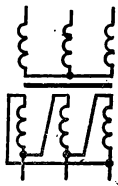
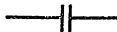
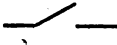
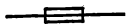
Наименование	Обозначение
Варистор (резистор нелинейный, сопротивление которого зависит от напряжения)	
Лампа накаливания осветительная	
Лампа накаливания сигнальная	
Катушка индуктивности без сердечника	
То же, но с ферромагнитным сердечником	
Трансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	
Трансформатор трехфазный с соединением обмоток звезда — треугольник с ферромагнитным сердечником	
Конденсатор нерегулируемый	
Конденсатор регулируемый	
Электрический двигатель постоянного тока	
Контакт выключателя	

Таблица 1.2 (продолжение)

Наименование	Обозначение
Диод полупроводниковый	
Предохранитель плавкий	
Прибор измерительный показывающий	
Гальванометр и амперметр, подвижная часть которых может отклоняться в обе стороны от нулевой отметки	
Амперметр	
Вольтметр	A
Ваттметр	V
Миллиамперметр	W
Милливольтметр	mA
Счетчик ватт-часов	mV
Фазометр	Wh
Частотомер	φ или $\cos \varphi$
	Hz

§ 1.3. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

В начале лабораторного практикума, когда у учащихся еще нет определенного навыка в чтении схемы, пользовании приборами и аппаратами, процесс сборки электрической цепи оказывается более длительным и трудоемким, чем непосредственное снятие показаний приборов.

Расставим приборы и аппараты по возможности так, чтобы они соответствовали принципиальной схеме. Для облегчения запоминания сделаем на специальных пластинках, закрепленных около каждого прибора, пометки, указывающие измеряемую величину. Чтобы магнитные поля катушек индуктивности, трансформаторов, электродвигателя не влияли на точность измерений, расположим измерительные приборы подальше от источников поля.

Сборку схемы должен вести только один человек, другие члены бригады контролируют его, подают ему нужные провода, выполняют мелкие поручения. Для ос-

новой силовой цепи используем провода одного цвета, для включения вольтметров и параллельной обмотки ваттметра — другого. Можно использовать цвет проводов и по другому принципу, но выбранная система должна быть наглядной, позволяющей быстрее, легче и без ошибок собрать цепь. Возьмем за правило, всегда при подключении какого бы то ни было элемента входом его считать левую (верхнюю) клемму, а выходом правую (нижнюю). Это правило в значительной мере предупредит от ошибок и упростит проверку цепи.

Итак, начинаем с правой клеммы источника питания, соединяем по очереди один элемент за другим, как бы прокладывая путь электрическому току и возвращаемся к левой клемме источника. Причем положительный зажим источника постоянного тока следует соединять с положительным зажимом, который указан на приборах магнитоэлектрической и электронной систем. Собираем сначала только главную, силовую часть, а затем подключаем параллельные ветви, если они имеются в схеме. Слаботочные ветви вольтметров, параллельных обмоток ваттметров, осциллографа и т. п. собираем в последнюю очередь.

Наличие ошибок в цепи может привести к порче приборов или даже к несчастному случаю, поэтому каждый раз необходимо показывать собранную цепь руководителю для проверки.

§ 1.4. ВКЛЮЧЕНИЕ ЦЕПИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Чтобы обеспечить минимальную силу тока в цепи, перед включением цели движки реостатов следует установить в такое положение, чтобы сопротивление было максимальным, катушку, если она имеется в схеме, нужно полностью надеть на сердечник. Переключатели многопредельных приборов следует поставить на больший предел; проверить, чтобы указатель рукоятки регулятора напряжения, если он предусмотрен схемой, находился на нулевой отметке. С помощью корректора установить все стрелки приборов на нуль.

После этого схему включают и, наблюдая за показаниями приборов, медленно увеличивают регулятором напряжение на входе схемы до нужной величины. Если при

этом стрелка амперметра не отклоняется, то это означает, что в неразветвленной цепи имеется обрыв или неправильно подключен прибор. Если стрелка амперметра даже при малом напряжении отклоняется до конца шкалы, то это указывает на короткое замыкание в цепи. Стрелки приборов магнитоэлектрической системы и ваттметров могут отклоняться влево от нулевой отметки, если перепутаны местами концы присоединенных проводов.

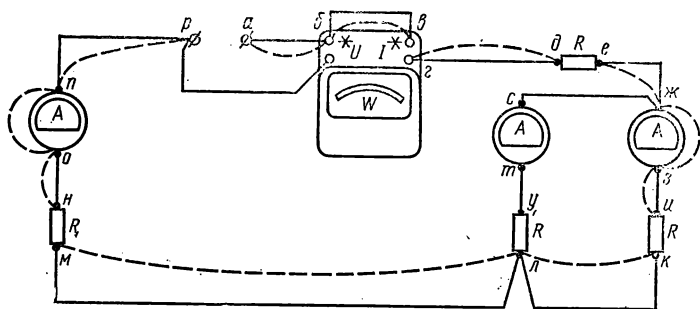


Рис. 1.3

Во всех этих случаях источники питания нужно выключить и еще раз проверить цепь или обратиться за помощью к преподавателю.

Иногда даже при правильно собранной цепи ток отсутствует во всей цепи или в одной ее части. В этом случае нужно найти обрыв, который может быть на контактах, в соединительных проводах, в амперметре, в потребителе.

Для нахождения места обрыва можно использовать заведомо исправный, достаточно длинный, хорошо изолированный проводник со специальными наконечниками. При включенной цепи, начиная от одного зажима источника, дублируют поочередно каждый провод, амперметр, а также токовые зажимы ваттметра, как показано пунктирной линией на рис. 1.3. Нельзя замыкать накоротко вольтметры, параллельные обмотки ваттметра, потребители и, конечно, зажимы источника питания. Если проводник дублирует соединение двух точек схемы, то это не вызывает никаких изменений в цепи. Если же приборы изменили свои показания, то это будет означать, что проводник устранил обрыв. Заменить испорченный провод

или прибор можно только при выключенной цепи. Такой способ определения места повреждения удобен, но не позволяет определить двойной обрыв и обрыв внутри потребителя.

Можно использовать и вольтметр. При включенной цепи сначала проверяют вольтметром наличие напряжения на зажимах источника. Затем поочередно, как и в предыдущем способе, подключаем зажимы прибора к началу и концу каждого провода, амперметра, потребителя. Если напряжение на контролируемом участке окажется не равным нулю, то это означает, что обрыв произошел на данном участке. Этот метод не выявляет двойного обрыва, но исключает короткое замыкание в случае неправильных действий и позволяет найти обрыв внутри потребителя.

Третий способ также предусматривает использование вольтметра: один его провод подключают к любой клемме источника, например p (см. рис. 1.3), а другим проводом сначала касаются клеммы a , измеряя напряжение источника питания, затем точек b , v , g , d и т. д. Например, если напряжение

$$U_{pa} = U_{pb} = U_{pv} = U_{pg} = U_{ист},$$

а напряжение $U_{pd} = 0$, то это означает, что провод на участке gd имеет обрыв.

Может оказаться, что после устранения неисправности тока в цепи опять нет. Тогда следует продолжать поиск таким же способом, так как в цепи есть еще один обрыв. Если обрыв только в одной из параллельных ветвей, то его можно сразу же определить по показаниям амперметров после включения цепи (см. рис. 1.3). В этом случае контролировать нужно только поврежденную ветвь: один проводник вольтметра присоединяют к концу параллельной ветви (например, к точке $л$), а вторым прикасаются к началу ветви (точка $ж$), измеряя напряжение. Потом, аналогично контролируют точки $с$, $т$, $у$, определяя неисправность.

Последним способом можно определить любое количество обрывов и другие неисправности.

§ 1.5. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА

Если цепь исправна, то можно приступить к проведению опыта. Регулятором постепенно увеличиваем на-

пряжение от нуля до необходимой величины, при этом наблюдаем за показаниями приборов.

Сначала выполняем все действия согласно программе работы, но без записи результатов. Такое опробование необходимо, чтобы убедиться, что приборы выбраны правильно, а если есть необходимость, то и заменить их, подбирая более подходящий предел измерения. Пробный опыт нужно делать каждый раз, чтобы избежать напрасной траты времени и сил и чтобы уменьшить погрешность измерений.

Обязанности в бригаде лучше разделить. Один человек должен изменять напряжение, сопротивление и т. д., а также наблюдать за одним-двумя приборами; другой — за остальными приборами; третий — записывать результаты в таблицу, вычерченную в рабочей тетради. В последующих работах обязанности должны быть перераспределены.

Во время пробного опыта уже выяснен диапазон изменения тока, напряжения и т. д. В ходе проведения эксперимента необходимо записывать значения измеряемой величины; измерения следует производить равномерно по всему диапазону, включая начальную, конечную и точку экстремума, если она существует. Показания всех приборов следует снимать внимательно и одновременно по команде старшего в бригаде. Записывать в тетрадь следует мягким карандашом. Если трудно сразу определить измеряемую величину в соответствующих единицах измерения, то можно зафиксировать сначала количество делений, а потом после окончания данного опыта тут же пересчитать ее в размерных единицах, учитывая цену деления.

По окончании эксперимента нужно проанализировать полученные результаты и проверить правильность отсчета измеренных величин. Это можно сделать несколькими способами: 1) проверить правильность измерений по законам Кирхгофа; 2) по балансу мощностей; 3) по характеру изменения токов, напряжения, мощностей, сопоставляя экспериментальные результаты с теоретическими.

В последнем случае полезно построить черновой график. Для этого нужно на миллиметровой бумаге отложить в масштабе значения зафиксированных величин, отметить их точками, а затем соединить плавной кривой. Обычно для построения графиков достаточно 5—7 точек.

Кривую не обязательно проводить по всем точкам, она должна усреднять результаты измерений и правильно отражать характер изменения исследуемой величины (рис. 1.4). Если некоторые точки окажутся слишком удаленными от кривой, то нужно повторить опыт, проверив правильность отсчета координат этих точек.

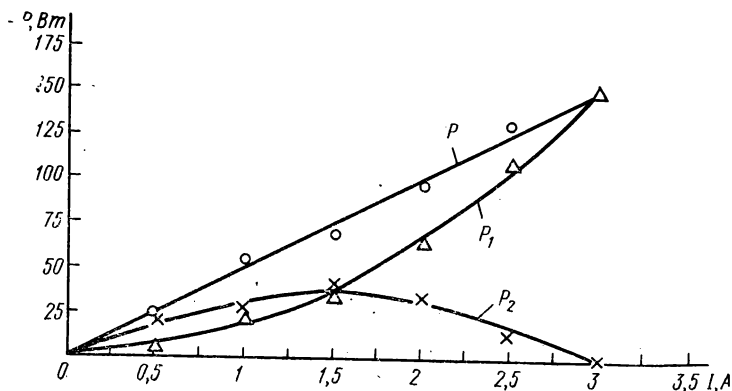


Рис. 1.4

Не торопитесь разбирать цепь, покажите сначала свои результаты преподавателю для проверки, так как может случиться, что вам придется делать всю работу заново.

§ 1.6. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА. ЗАЧЕТ

Отчет является документом о проделанном эксперименте, поэтому он должен иметь все необходимые сведения для проверки результатов опыта и расчета. Составление отчета является индивидуальной домашней работой каждого члена бригады. Отчет выполняется на бланке установленного образца (см. приложение) и должен содержать название и номер лабораторной работы, название учебного заведения и лаборатории, шифр группы, фамилию учащегося, дату выполнения работы. Кроме этого, должны быть указаны цель работы, приборы и аппараты, схема, программа работы, расчетные формулы или сами расчеты, таблицы результатов, графики, выводы.

Отчет выполняется чернилами (пастой), текст должен быть написан четким, понятным почерком.

Схемы, таблицы, графики и другие построения выполняются только карандашом и только с помощью чертежных инструментов. При начертании схем должны соблюдаться стандартные обозначения (ГОСТы).

В одной системе координат можно изображать несколько кривых, лучше разноцветных, так как это создает наглядность и облегчает сопоставление. Определенную трудность у учащихся обычно вызывает выбор масштаба. Здесь надо руководствоваться следующими правилами: 1) масштаб предпочтительно иметь равным $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$, $5 \cdot 10^n$ ед/см, 2) размер кривой должен соответствовать формату № 11 (297×210) или его половине, 3) на каждую ось нужно нанести масштабные деления и обозначить их, указав размерность величин.

Если в одном направлении оси откладываются разные величины, то каждая из них должна иметь свою масштабную ось. Математическая обработка экспериментальных данных может быть приведена в отчете полностью или частично, но в любом случае обязательно указание расчетных формул и порядка расчета. Не исключена возможность, что опытные и расчетные данные не совпадут на 5—10%. Это возможно из-за колебаний напряжения в сети, погрешностей при измерениях, нестабильности параметров цепи, поэтому такие отклонения следует считать допустимыми.

В заключение всей работы должен быть сделан вывод. Он касается выполнения поставленной задачи, подтверждения опытным путем тех законов, правил и формул, которые изучались на теоретических уроках.

После каждой лабораторной работы проводится зачет. Учащийся должен знать теорию по данной теме, уметь собрать цепь и рассказать ход лабораторной работы, пояснить, как проводился расчет, уметь проанализировать полученные результаты и объяснить причины расхождения расчетных и опытных данных. Такая защита лабораторных работ проводится систематически, как правило, на следующем лабораторном занятии.

§ 1.7. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) для помещений без повышенной опасности пора-

жения током, к которым относятся лаборатории теоретических основ электротехники, безопасным считается напряжение до 42 В. Сопротивление тела человека определяется, главным образом, сопротивлением кожного покрова и равно 200—500 кОм. Увлажнение или повреждение кожи снижает сопротивление до 600—800 Ом: большое влияние оказывает также общее состояние организма и нервной системы. Таким образом, при указанном напряжении через человека, находящегося в нормальном состоянии, протекает ток в 0,1—0,3 мА. Сила тока в 50 мА может привести к травме, а в 100 мА — к смертельному исходу. Следует иметь в виду, что при токе даже менее 50 мА мышцы кистей рук непроизвольно сокращаются и токоведущая часть может оказаться зажатой в кулаке и тогда не удастся разжать руку и прервать ток через тело.

В некоторых лабораторных работах используется напряжение 127 или даже 220 В, поэтому меры предосторожности имеют особо важное значение.

Основные правила по технике безопасности следующие:

1. Перед началом сборки цепи следует убедиться в том, что выключатель находится в выключенном состоянии.

2. Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправными клеммами, проводов с поврежденной изоляцией, неисправных реостатов, патронов ламп, тумблеров и др.

3. Перед тем как присоединить конденсатор, его необходимо предварительно разрядить, замкнув выводы на коротко проводником.

4. Собранная цепь должна быть проверена руководителем и может включаться только по его разрешению.

5. Перед включением цепи следует убедиться, что никто не прикасается к оголенным токоведущим частям.

6. Все необходимые переключения нужно производить только при выключенном напряжении. Всякое изменение в цепи должно быть проверено преподавателем.

7. Учащимся не разрешается самостоятельно производить какие-либо переключения на главном распределительном щите лаборатории.

8. Во время работы с электродвигателем необходимо постоянно следить за тем, чтобы волосы и части одежды не попадали на вращающиеся части.

9. Если во время работы возникнет какое-либо повреждение, в результате чего появится дым, специфический запах или накалятся проводники, то надо быстро выключить напряжение и сообщить преподавателю о случившемся.

10. Если кто-либо попадет под напряжение и не сможет сам оторваться от токоведущих частей, то не пытайтесь оттащить его — вы сами будете поражены током. Быстро выключите напряжение! Сообщите преподавателю о случившемся.

11. Учащиеся допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

Глава II

ОПИСАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Ознакомление с порядком выполнения лабораторных работ, аппаратурой и электроизмерительными приборами

Цель лабораторной работы — ознакомиться с техникой безопасности, с устройством стенда, с аппаратурой и электроизмерительными приборами, с условными обозначениями их на схемах, с правилами отсчета показаний. Учащиеся должны получить общие представления о сборке электрических цепей.

Подготовка к работе

Необходимо повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.1 или [2], § 2-1.

1. Электрическая цепь представляет собой совокупность отдельных компонентов, соединенных между собой определенным образом, и предназначена для протекания электрического тока. В электрической цепи происходит преобразование энергий: механическая и химическая переходят в электрическую, а электрическая — в тепловую, световую, механическую и др. В состав цепи могут входить источники электрической энергии, потребители, соединительные провода, аппараты управления, защиты и сигнализации, электроизмерительные приборы, преобразующие устройства и т. д.

Электрические цепи могут быть неразветвленными и разветвленными. Узлом называют такую точку электрической цепи, где соединяются более двух проводников. Ветвью называют участок цепи, заключенный между двумя узлами, на протяжении которого сила тока имеет одно и то же значение. Все элементы электрической цепи имеют условные обозначения на схемах (см., например, табл. 1.2).

2. Электрические цепи обязательно содержат источники электрической энергии. Часто на схемах сами источники не изображаются, но обозначаются клеммы электрической сети, от которой питается цепь.

Городская электрическая сеть имеет переменное напряжение 127 или 220 В и не всегда пригодна для нормальной работы исследуемой цепи, поэтому иногда применяют регуляторы напряжения. Обычно это лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Перемещая движок по его обмотке, можно изменять выходное напряжение от 0 до 250 В (рис. 2.1).

Если в лабораторных условиях требуется постоянное напряжение, то можно использовать аккумуляторы или выпрямители. В последнем случае можно получить постоянное регулируемое напряжение, если применять ЛАТР.

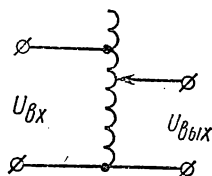


Рис. 2.1

Для лабораторных работ применяют также трехфазную систему напряжений.

3. В качестве потребителей электрической энергии можно использовать лампы накаливания и реостаты, в которых электрическая энергия переходит в тепловую и световую. Сопротивление реостата можно регулировать от 0 до максимума с помощью движка. На табличке каждого реостата указаны номинальное сопротивление и номинальная сила тока. Следует иметь в виду, что действительное значение сопротивления может отличаться на 10—20% от номинального в обе стороны. Номинальная мощность, указанная на цоколе лампы, также отличается от действительной.

Из ламп накаливания можно составить реостат, если их соединить параллельно. Чем больше ламп в таком реостате, тем меньше сопротивление его. Очевидно, что регулирование сопротивления возможно только ступенчатое, что является большим недостатком ламповых реостатов.

Конденсаторы соединяют в батарею параллельно и применяют в качестве нагрузки. Чем больше конденсаторов в батарее, тем больше ее емкость.

Весьма важным потребителем является катушка индуктивности. Индуктивность можно изменять перемещая катушку относительно ферромагнитного сердечника. Чем

Меньше витков в катушке и чем дальше она находится от сердечника, тем меньше индуктивность.

4. Для защиты от перегрузок и коротких замыканий применяют автоматические выключатели или плавкие предохранители (в схемах лабораторных работ они не указаны). Они разрывают цепь за сотые доли секунды после возникновения короткого замыкания. За это время элементы цепи еще не успевают перегреться.

5. Существует множество электроизмерительных приборов, которые помогают контролировать и исследовать

Таблица 2.1

Наименование системы	Обозначения
Магнитоэлектрическая	
Электромагнитная	
Электродинамическая	
Ферродинамическая	
Индукционная	
Электростатическая	
Вибрационная	
Тепловая	
Электронная с магнитоэлектрическим измерительным механизмом	

работу электрических цепей. В учебной лаборатории применяют лишь некоторые из них: амперметры, миллиамперметры, вольтметры, ваттметры и др. Приборы бывают щитовые и переносные, предназначенные для измерения на постоянном или переменном токе. Они могут быть одно- и многопредельными, могут иметь различные конструктивные особенности.

По способу преобразования электромагнитной энергии в механическую приборы делят на несколько систем. Основные системы и их условные обозначения на шкалах приборов указаны в табл. 2.1.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Из каких элементов состоит электрическая цепь и каково их назначение?
3. Что называют узлом и ветвью электрической цепи?
4. Каков порядок сборки электрической цепи?
5. Какие системы электроизмерительных приборов вы знаете?
6. Как условно изображают магнитоэлектрическую, электромагнитную и электродинамическую системы приборов?
7. Как поступить, если стрелка амперметра с односторонней шкалой отклоняется влево от нулевой отметки?
8. Как поступить, если стрелка вольтметра отклоняется за последнее правое деление шкалы?
9. Начертите схему включения ваттметра.
10. Как поступить, если стрелка ваттметра отклоняется влево от нулевой отметки?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.2

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Реостат		1	
Ламповый реостат		1	
Катушка		1	

Питание от источника постоянного регулируемого напряжения.

Программа работы

1. Ознакомиться со всеми приборами стенда. Записать технические характеристики некоторых приборов (по указанию преподавателя).

2. Ознакомиться с аппаратами стенда, записать их технические характеристики.

3. Измерить э. д. с. всех источников.

4. Собрать цепь (рис. 2.2) и показать ее товарищам по бригаде для проверки, определить цену деления используемых приборов.

Внимание!

Здесь и далее цепь не включать!

5. Начертить схему, содержащую параллельно соединенные катушку и реостат, а также приборы для измерения всех токов.

6. Повторить п. 4 для этой схемы.

7. Повторить п. 4 для схем рис. 2.3 и 2.4.

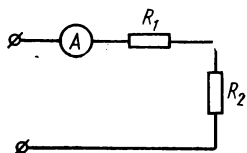


Рис. 2.2

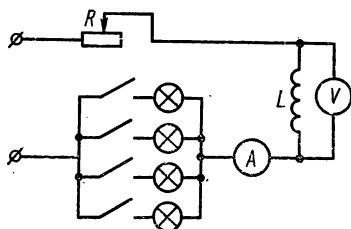


Рис. 2.3

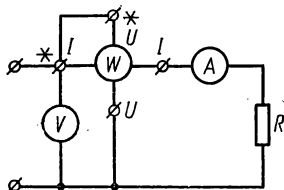


Рис. 2.4

Обработка результатов опытов

По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) соблюдения правил безопасности при работе в лаборатории; б) назначения элементов, составляющих электрическую цепь; в) последовательности действий при сборке цепи.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Режимы работы источника электрической энергии

Цель лабораторной работы — изучить режимы работы источника электрической энергии, определить его внутреннее сопротивление, проанализировать соотношение между э. д. с. и напряжением на его зажимах.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.3, 3.4 или [2], § 2-12.

Источники электрической энергии могут работать в режиме генератора или потребителя.

При работе в режиме генератора сила тока определяется согласно закону Ома для полной цепи по формуле

$$I = E / (R + R_0).$$

Отсюда следует, что

$$E = IR + IR_0 = U + U_0,$$

т. е. э. д. с. равна сумме падений напряжения на потребителе и в источнике. Тогда внутреннее падение напряжения в источнике

$$U_0 = E - U$$

и внутреннее сопротивление источника

$$R_0 = U_0 / I.$$

Таким образом, для определения R_0 необходимо измерить э. д. с. в режиме холостого хода, напряжение и силу тока в каком-либо рабочем режиме.

Напряжение на зажимах источника меньше э. д. с. на величину падения напряжения и, чем больше сила тока, тем больше эта разность:

$$U = E - IR_0 = E - U_0.$$

Если источник электрической энергии работает в режиме потребителя, то ток направлен против э. д. с., тогда напряжение на зажимах будет больше э. д. с. на эту же величину:

$$U = E + IR_0 = E + U_0.$$

Коэффициент полезного действия источника электрической энергии можно рассчитать по формуле

$$\eta = P_{\text{н}} / P_{\text{г}} = (UI) / (EI) = U / E,$$

где $P_{\text{н}}$ — мощность потребителя; $P_{\text{г}}$ — мощность генератора.

Мощность потерь в источнике определяется по формуле

$$\Delta P = P_{\text{г}} - P_{\text{н}} = U_0 I.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие источники электрической энергии вы знаете? Какие виды энергии они используют?
3. Какие режимы работы источников вам известны?
4. Каковы характерные особенности режима холостого хода источника?
5. Каковы характерные особенности режима короткого замыкания источника?
6. Как измерить э. д. с. источника и напряжение на его зажимах?
7. Запишите формулу закона Ома и проанализируйте ее.
8. Какие опыты и расчеты нужно проделать, чтобы определить падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника?
9. Как определить R_0 ?
10. Как рассчитать потери и к. п. д. источника электрической энергии?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.3

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Исследуемый источник		1	
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Реостат		2	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Измерить э. д. с. исследуемого источника.
2. Собрать цепь для генераторного режима (рис. 2.5) и показать ее преподавателю для проверки.
3. Включить цепь. Измерить силу тока и напряжение на зажимах источника при 4—5 значениях сопротивления реостата. Результаты наблюдений записать в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4

Из опыта			Из расчета						
E_1 , В	U , В	I , А	U_0 , В	R_0 , Ом	P_T , Вт	P_{II} , Вт	ΔP , Вт	η , о. е.	

4. Установить с помощью регулятора необходимое напряжение и считать его за э. д. с. E_2 , причем E_2 должно быть больше E_1 .

5. Собрать цепь для работы источника E_1 в режиме потребителя (рис. 2.6) и показать ее преподавателю для проверки.

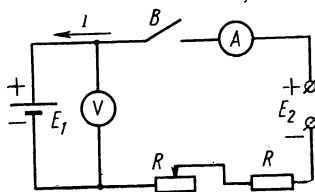


Рис. 2.5

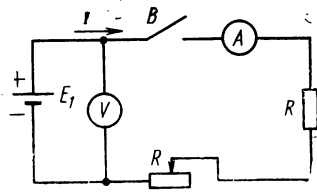


Рис. 2.6

6. Включить цепь. Измерить силу тока и напряжение на зажимах источника при 4—5 значениях сопротивления реостата. Результаты наблюдений записать в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Из опыта				Из расчета	
E_1 , В	E_2 , В	U , В	I , А	U_0 , В	R_0 , Ом

Обработка результатов опытов

1. Для генераторного режима (п. 3) рассчитать U_0 , R_0 , R_{Γ} , R_{Π} , ΔP , η и записать их значения в табл. 2.4.

2. Построить внешнюю характеристику источника.

3. Для работы источника в режиме потребителя (п. 6) рассчитать U_0 , R_0 и записать их значения в табл. 2.5.

По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможных режимов работы источников электрической энергии; б) возможности определения внутреннего сопротивления источника и падения напряжения на нем; в) изменения напряжения на зажимах источника с ростом нагрузки; г) величины потерь и к. п. д. источника.

Выводы записать в отчет.

Построение потенциальной диаграммы

Цель лабораторной работы — измерить потенциалы точек в электрической цепи и сравнить их с расчетными значениями, а также построить потенциальные диаграммы по результатам опытов и расчетов.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.4 и задачу 3.9 или [2], § 2.13.

1. Потенциалы можно измерить вольтметром с большим внутренним сопротивлением. Для этого используют магнитоэлектрический или электронный приборы, имеющие полярность зажимов, что позволяет определить знак измеряемого потенциала.

Если заземлить какую-либо точку цепи (рис. 2.13) и отрицательный зажим вольтметра соединить с ней, а положительный зажим присоединить к точке с положительным потенциалом, то стрелка вольтметра отклонится вправо. И наоборот, если стрелка отклоняется влево, то следует поменять местами проводники вольтметра и произвести измерение потенциала, который следует считать отрицательным.

Ток в резисторе всегда направлен от большего потенциала к меньшему, по этому признаку можно определить направление тока следующим образом: если стрелка магнитоэлектрического вольтметра, подключенного к концам резистора, отклоняется вправо, то положительный зажим вольтметра присоединен к точке с большим потенциалом.

Силу тока для последовательного соединения двух источников и трех потребителей можно рассчитать по формуле

$$I = \frac{E_1 \pm E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_{01} + R_{02}}.$$

Знак «плюс» в числителе означает, что источники соединены согласно, и «минус» — встречно. В расчетах внутренним сопротивлением источников часто пренебрегают, так как они малы по сравнению с сопротивлениями потребителей, тогда расчетное значение силы тока несколько больше, чем опытное. В опыте же эти сопротивления учитываются автоматически.

2. Если между точками A и B электрической цепи (рис. 2.7) включен резистор, а один из потенциалов φ_A известен, то потенциал другой точки определяется по формуле

$$\varphi_B = \varphi_A \pm IR.$$

Знак плюс ставят при направлении тока в резисторе от точки B к точке A , т. е. $\varphi_B > \varphi_A$, а «минус» при обратном направлении тока.

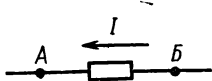


Рис. 2.7

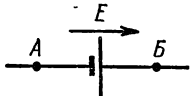


Рис. 2.8

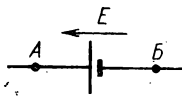


Рис. 2.9

Если между точками A и B включен источник без внутреннего сопротивления (рис. 2.8), то направление тока не имеет значения для расчета потенциалов:

$$\varphi_B = \varphi_A \pm E.$$

Здесь «плюс» выбирается, если точка B соединена с положительным зажимом, так как φ_B больше φ_A на величину E , а знак «минус» — при обратном направлении э. д. с. (рис. 2.9).

Если источник имеет внутреннее сопротивление, отличное от нуля, то необходимо учитывать и направление тока и направление э. д. с. согласно п. 2 и 3:

$$\varphi_B = \varphi_A \pm E \pm IR_0.$$

Отметим, что при встречном направлении тока и э. д. с. источник работает в режиме потребителя.

3. Для построения потенциальной диаграммы прежде всего нужно выбрать масштабы сопротивлений и потенциалов.

Ноль на вертикальной оси потенциалов выбираем с учетом того, что потенциалы могут быть положительными и отрицательными (рис. 2.10). Затем отложим на горизонтальной оси все сопротивления строго по порядку их следования в схеме, прикладывая начало каждого отрезка к концу предыдущего. Для каждой точки электрической цепи отмечаем величины потенциалов и соединяем полученные точки отрезками прямой линии.

Для каждой схемы в одной системе координат вычерчиваем две потенциальные диаграммы: расчетную и

опытную. Можно заметить, что отрезки прямой, соответствующие резисторам, параллельны, а отрезки прямой, соответствующие источникам, вертикальны или почти вертикальны. Тангенс угла наклона параллельных отрезков пропорционален силе тока:

$$I = (\varphi_A - \varphi_B) / R_{AB} \equiv \operatorname{tg} \alpha.$$

В этом легко убедиться, рассматривая прямоугольные треугольники, построенные на потенциальной диаграмме (рис. 2.10) — вертикальный катет в масштабе

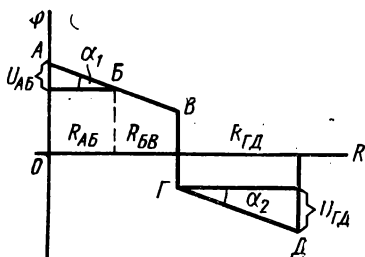


Рис. 2.10

представляет собой напряжение, а горизонтальный — сопротивление. Так как сила токов в резисторах одинакова, то углы α_1 и α_2 равны, а соответствующие отрезки параллельны.

4. Если одну из точек электрической цепи (например, точку Д) соединить с землей через резистор (рис. 2.11), то потенциал этой точки будет равен нулю, так как в резисторе ток не возникает и падения напряжения не создается.

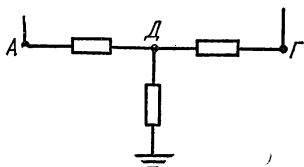


Рис. 2.11

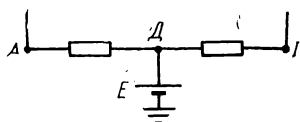


Рис. 2.12

Схема 1

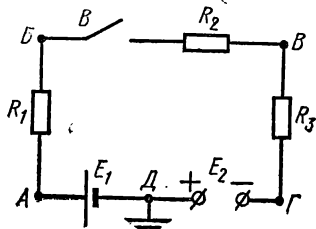


Рис. 2.13

Схема 2

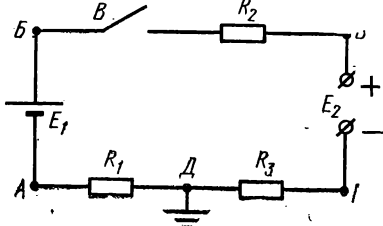


Рис. 2.14

При соединении точки Δ с землей через источник (рис. 2.12) все потенциалы повышаются на величину E , а потенциальная диаграмма «поднимается» над горизонтальной осью на отрезок, пропорциональный э. д. с.

5. Для заданных преподавателем значений э. д. с. и сопротивлений рассчитать потенциалы всех точек в схемах рис. 2.13, 2.14, 2.15, считая, что внутренние сопротивления равны нулю. Результаты записать в табл. 2.7.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое потенциал точки электрического поля?
3. Как рассчитать потенциал точки электрической цепи?
4. Как определить направление тока в неразветвленной цепи, имеющей несколько источников?

5. Можно ли определить направление тока в резисторе, если известны потенциалы на его зажимах?

6. Можно ли определить направление тока в источнике, если известны потенциалы на его зажимах?

7. Может ли оказаться, что несколько точек электрической цепи имеют нулевой потенциал, если заземлена только одна точка?

8. Как определить на опыте знак потенциала какой-либо точки электрической цепи?

9. В каком направлении следует двигаться по цепи при расчете потенциалов, по ходу или против хода часовой стрелки?

10. Как следует откладывать сопротивления при построении потенциальной диаграммы?

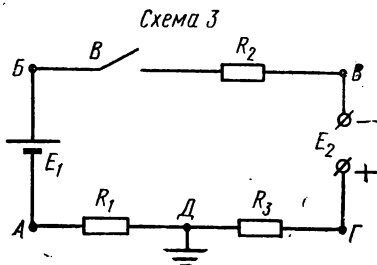


Рис. 2.15

Приборы и оборудование

Таблица 2.6

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Вольтметр		1	
Магазин сопротивлений		3	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от регулируемого и нерегулируемого источника постоянного напряжения.

Программа работы

1. Проверить э. д. с. источника нерегулируемого постоянного напряжения E_1 , установить с помощью регулятора напряжение $U = E_2$, установить сопротивление магaziнов согласно с п. 5 подготовки к работе.

2. Собрать цепь (см. рис. 2.13) и показать ее преподавателю для проверки.

3. Измерить потенциалы точек $A, B, B, Г, Д$ и напряжение $U_{\phi_{BB}}$ при замкнутом выключателе. Результаты записать в табл. 2.7.

Таблица 2.7

№ схемы	$E_1, В$	$E_2, В$	$\phi_A, В$	$\phi_B, В$	$\phi_{B'}, В$	$\phi_{Г}, В$	$\phi_{Д}, В$	$U_{BB}, В$
------------	----------	----------	-------------	-------------	----------------	---------------	---------------	-------------

Из расчета

1								
2								
3								

Из опыта

1								
2								
3								

4. Повторить измерения в цепях, собранных по схемам рис. 2.14 и 2.15.

Обработка результатов опытов

1. По полученным опытным и расчетным данным для схемы рис. 2.13 построить потенциальные диаграммы в одной системе координат и сравнить их.

2. Повторить то же самое для схемы рис. 2.14 и 2.15.

3. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) подтверждения расчетов опытным путем, б) возможности графического определения напряжений, используя потенциальные диаграммы, в) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

Изучение законов Кирхгофа

Цель лабораторной работы — проверить на опыте законы Кирхгофа и сопоставить опытные результаты с расчетными.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.1, 3.2 или [2], § 3-1.

Вспомним законы Кирхгофа.

Первый закон: *алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю, или сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от узла.*

Второй закон: *алгебраическая сумма э. д. с. в замкнутом контуре равна алгебраической сумме падений напряжений в этом же контуре.*

Оба закона Кирхгофа можно проверить на одной электрической цепи (рис. 2.16). Внутренние сопротивления источников малы и их величиной можно пренебречь.

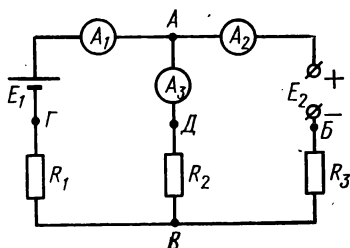


Рис. 2.16

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В чем заключается смысл первого закона Кирхгофа?
3. Какие токи считаются положительными и какие отрицательными?
4. В чем заключается второй закон Кирхгофа?
5. Какие э. д. с. и падения напряжений считаются положительными и какие отрицательными?
6. Запишите уравнения по первому закону Кирхгофа для точек А и В схемы рис. 2.16.
7. Сколько контуров в схеме на рис. 2.16?
8. Запишите уравнения по второму закону Кирхгофа для всех контуров схемы рис. 2.16.
9. Как изменится уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, если обходить контур в обратном направлении?
10. Как выбирается знак перед падением напряжения на внутреннем сопротивлении источника?

Приборы и оборудование

Таблица 2.8

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		1	
Реостат		3	

Питание от источника регулируемого и источника нерегулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Составить программу опытов по рис. 2.16 для достижения поставленной цели и ознакомить с ней преподавателя.

2. Собрать цепь и показать ее преподавателю для проверки.

3. Согласно составленной программе произвести измерения. Результаты записать в табл. 2.9.

Обработка результатов опытов

1. По измеренным значениям напряжения и силы тока рассчитать сопротивления резисторов.

2. Проверить по первому закону Кирхгофа баланс токов для различных узлов.

3. Проверить по второму закону Кирхгофа баланс напряжений и э. д. с. для всех контуров цепи (рис. 2.16).

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) опытного подтверждения первого закона Кирхгофа, б) опытного подтверждения второго закона Кирхгофа, в) причин неполного совпадения опытных результатов с теорией.

Выводы записать в отчет.

Таблица 2.9

Из опыта								Из расчета		
$E_1, В$	$E_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$

Последовательное и параллельное соединение резисторов

Цель лабораторной работы — проверка на опыте особенностей последовательного и параллельного соединения резисторов.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.4, 3.5 или [2], § 3-2, 3-3.

1. Последовательное соединение резисторов — это такое соединение, когда к концу одного резистора присоединяется начало другого, к концу второго — начало третьего и т. д. и при этом образуется неразветвленная цепь или участок цепи. Для последовательного соединения характерно то, что во всех этих резисторах возникает одинаковый ток, а падения напряжения на них пропорциональны сопротивлениям:

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3.$$

Каждое сопротивление может быть найдено по формулам:

$$R_1 = U/I, R_2 = U_2/I, R_3 = U_3/I.$$

Падение напряжения на всем участке цепи равно сумме падений напряжений на каждом резисторе:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Эквивалентное сопротивление участка цепи равно сумме сопротивлений каждого резистора:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Если же к концам участка вместо трех резисторов подключить эквивалентный резистор с сопротивлением $R_{\text{экв}}$ и подать такое же напряжение U , то в участке установится ток такой же силы I , что и при последовательном соединении резисторов:

$$I = U/R_{\text{экв}}.$$

Следовательно,

$$R_{\text{экв}} = U/I,$$

Если сопротивления резисторов равны

$$R_1 = R_2 = R_3 = R,$$

то эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{эКВ}} = Rn,$$

где n — число последовательно соединенных резисторов.

Мощность резисторов можно определить по формулам:

$$P_1 = U_1 I = I^2 R_1 = U_1^2 / R_1; \quad P_2 = U_2 I = I^2 R_2 = U_2^2 / R_2 \quad \text{и т. д.}$$

Мощность всего участка с последовательным соединением резисторов

$$P = UI = I^2 R_{\text{эКВ}} = U^2 / R_{\text{эКВ}}.$$

2. Параллельное соединение резисторов — это такое соединение, когда начала всех резисторов соединены в одну точку, а концы — в другую.

Для параллельного соединения характерно одинаковое падение напряжения на каждом резисторе и на всем участке:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Сила токов в параллельных ветвях обратно пропорциональна сопротивлениям:

$$I_1 = U / R_1; \quad I_2 = U / R_2; \quad I_3 = U / R_3.$$

Каждое сопротивление может быть найдено по формулам:

$$R_1 = U / I_1; \quad R_2 = U / I_2; \quad R_3 = U / I_3.$$

Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов всех ветвей:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Эквивалентное сопротивление двух ветвей определяется по формуле

$$R_{\text{эКВ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

трех ветвей

$$R_{\text{эКВ}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}.$$

Если сопротивления ветвей равны, то эквивалентное сопротивление участка

$$R_{\text{экв}} = R/m,$$

где m — число параллельных ветвей.

Эквивалентная проводимость при параллельном соединении определяется как сумма проводимостей всех ветвей:

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + g_3,$$

где

$$g_1 = 1/R_1, \quad g_2 = 1/R_2, \quad g_3 = 1/R_3$$

— проводимости ветвей. Для m одинаковых резисторов эквивалентная проводимость:

$$g_{\text{экв}} = gm.$$

Силы токов в ветвях находят по формулам:

$$I_1 = Ug_1, \quad I_2 = Ug_2, \quad I_3 = Ug_3,$$

для неразветвленной части

$$I = Ug_{\text{экв}}.$$

Мощность, поглощаемая резисторами при параллельном соединении, можно рассчитать по формулам, аналогичным для последовательного соединения:

$$P_1 = UI_1 = I_1^2 R_1 = U^2/R_1 = U^2 g_1,$$

$$P_2 = UI_2 = I_2^2 R_2 = U^2/R_2 = U^2 g_2 \text{ и т. д.}$$

3. Электрическая энергия, выработанная источником, в потребителях переходит в другие виды энергии: тепловую, световую, механическую и т. д., поэтому будет справедливо уравнение, называемое балансом мощностей:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где $P = EI$ — мощность источника энергии; P_1, P_2, P_3 — мощности потребителей.

Для упрощения расчета часто потребители, преобразующие электрическую энергию в механическую или световую, заменяют эквивалентными потребителями, преобразующими электрическую энергию в тепловую, т. е. получают эквивалентную схему замещения,

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что называют последовательным и параллельным соединением?
3. Запишите формулы для расчета эквивалентного сопротивления при последовательном и параллельном соединении.
4. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.
5. Сформулируйте и запишите закон Ома для участка цепи, не содержащего источника э. д. с., и для полной цепи.
6. На каком из двух последовательно соединенных резисторах будет больше падение напряжения?
7. В какой из двух параллельных ветвей будет больше ток?
8. Как рассчитать проводимость ветвей и эквивалентную проводимость при параллельном соединении резисторов?
9. Как рассчитать эквивалентную проводимость для последовательного соединения резисторов?
10. По каким формулам можно найти мощность, потребляемую резистором?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.10

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		4	
Вольтметр		1	
Реостат		3	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Изобразить схему последовательного соединения трех резисторов с измерительными приборами и схему параллельного соединения этих резисторов, необходимую для достижения поставленной цели. Ознакомить преподавателя со схемами.

2. Собрать цепь из последовательно соединенных резисторов и показать ее преподавателю для проверки.

3. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Измерить силу тока в цепи, падения напряжения на каждом участке при двух-трех значениях сопротивлений реостатов. Результаты записать в табл. 2.11.

4. Собрать цепь для параллельного соединения резисторов и показать ее преподавателю для проверки.

Таблица 2.11

Из опыта					Из расчета							
I, A	U, B	U_1, B	U_2, B	U_3, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_{экв}, Ом$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$P_3, Вт$	$P, Вт$

5. Включить цепь, установить необходимое напряжение и измерить силу токов в ветвях при двух-трех значениях сопротивлений. Результаты записать в табл. 2.12.

Обработка результатов опытов

1. Для цепи с последовательным соединением рассчитать сопротивление и мощность каждого реостата, эквивалентное сопротивление, а также мощность всей цепи. Результаты расчетов записать в табл. 2.11. Проверить баланс мощностей.

2. Для цепи с параллельным соединением рассчитать сопротивление, проводимость и мощность каждого реостата и всей цепи, результаты расчетов записать в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Из опыта					Из расчета											
$U, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I, А$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_{экв}, Ом$	$g_1, См$	$g_2, См$	$g_3, См$	$g_{экв}, См$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$P_3, Вт$	$P, Вт$

Проверить баланс мощностей.

3. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) распределения напряжения на резисторах при последовательном соединении, б) распределения тока в ветвях при параллельном соединении резисторов, в) подтверждения первого и второго законов Кирхгофа, г) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

Смешанное соединение резисторов

Цель лабораторной работы — проследить за изменением силы токов и падений напряжения на участках цепи при изменении сопротивлений этих участков и объяснить качественно наблюдаемые явления.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.5, 3.6 или [2], §3-4.

1. На схеме рис. 2.17 показано смешанное соединение приемников. Между точками *A* и *B* включены три парал-

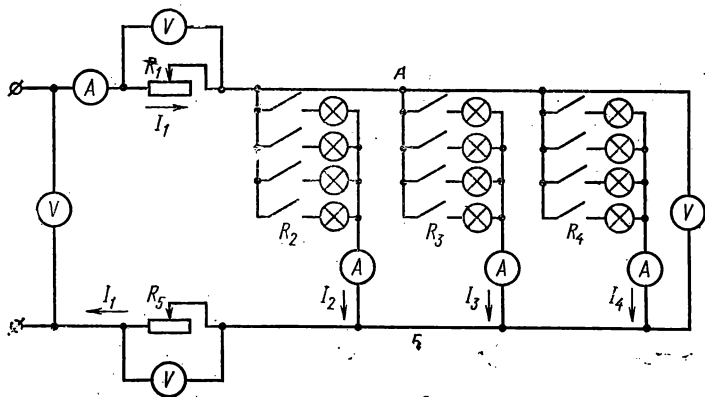


Рис. 2.17

лельные ветви, каждая из которых содержит по четыре параллельно соединенных лампы. Последовательно с этой группой соединены два реостата.

Чем больше количество ламп в ветви, тем меньше эквивалентное сопротивление ветви, так как при этом увеличивается общее сечение спиралей на данном участке, а сопротивление проводника

$$R = \rho l / S.$$

Если разомкнуть любой рубильник в приведенной схеме, то сопротивление в месте разрыва будет бесконечно

большим. При замкнутом рубильнике сопротивление участка «рубильник — лампа» равно сопротивлению лампы $R_{\text{л}}$. Таким образом, эквивалентное сопротивление ветви уменьшается. Его величину можно записать, как

$$R_{\text{эkv}} = R_{\text{л}}/m,$$

где m — число параллельно соединенных ламп.

2. Рассмотрим влияние сопротивления R_1 на силу токов и на падения напряжения в участках цепи при неизменном напряжении на ее зажимах.

С увеличением сопротивления R_1 эквивалентное сопротивление также увеличивается:

$$R_{\text{эkv}} = R_1 + R_5 + R_{AB}, \text{ где } R_{AB} = \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4},$$

а сила тока на входе уменьшается:

$$I = U/R_{\text{эkv}}.$$

Уменьшаются и токи в параллельных ветвях, так как их сопротивления не изменились и распределение токов осталось прежним.

Характер изменения падения напряжения на первом резисторе по формуле

$$U_1 = I_1 R_1$$

определить невозможно, так как сила тока уменьшилась, а сопротивление R_1 увеличилось. Можно воспользоваться уравнением второго закона Кирхгофа:

$$U = U_1 + U_{AB} + U_5,$$

но-предварительно необходимо выяснить, как изменятся напряжения

$$U_{AB} \text{ и } U_5.$$

Исследуя формулы

$$U_{AB} = I_1 R_{AB} \text{ и } U_5 = I_1 R_5,$$

видим, что эти напряжения уменьшились, так как сопротивления остались неизменными, а сила тока стала меньше.

Теперь легко убедиться, что U_1 увеличилось:

$$U_1 = U - U_{AB} - U_5.$$

Рассуждая аналогично при увеличении сопротивления R_5 , приходим к выводу, что силы токов в цепи и падения напряжения U_1 и U_{AB} уменьшаются, а напряжение U_5 увеличивается.

3. Из трех параллельных ветвей достаточно рассмотреть изменение сопротивления в одной из них, например, увеличение сопротивления R_2 . При этом сопротивления R_{AB} и $R_{экв}$ увеличатся и, следовательно, сила тока I_1 уменьшится, уменьшатся также U_1 и U_5 , а U_{AB} увеличится

$$U_{AB} = U - U_1 - U_5.$$

Так как сопротивления R_3 и R_4 остались неизменными, то силы токов I_3 и I_4 увеличатся.

Характер изменения тока I_2 по формуле

$$I_2 = U_{AB} / R_2$$

определить нельзя, так как числитель и знаменатель дроби увеличились. Воспользуемся первым законом Кирхгофа

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

Так как сила тока I_1 уменьшилась, а I_3 и I_4 увеличились, сила тока I_2 уменьшится:

$$I_2 = I_1 - I_3 - I_4.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Запишите уравнение первого закона Кирхгофа для исследуемой цепи.
3. Запишите уравнение второго закона Кирхгофа для исследуемой цепи.
4. Как изменится сопротивление лампового реостата в исследуемой цепи, если отключить одну лампу?
5. Запишите эквивалентное сопротивление исследуемой цепи.
6. Как изменится сила тока в неразветвленной части исследуемой цепи, если увеличить количество включенных ламп?
7. Как изменятся токи I_2 , I_3 , I_4 , если отключить одну лампу в реостате R_2 ?
8. Как изменится напряжение U_1 , если сопротивление реостата R_1 уменьшить до нуля?
9. Как изменятся напряжения U_1 и U_{AB} , если сопротивление реостата R_5 уменьшить до нуля?
10. Почему увеличение сопротивления R_1 больше влияет на напряжение U_1 , чем уменьшение силы тока I_1 ?

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		4	
Вольтметр		4	
Реостат		2	
Ламповый реостат		3	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.17) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Выяснить, как изменяются падения напряжения и сила токов в цепи при изменении сопротивлений R_3 , R_4 и R_5 . Результаты записать в табл. 2.14.

Обработка результатов опытов

1. Объяснить письменно характер изменения токов и напряжений.

2. По лабораторной работе сделать заключение относительно экспериментального подтверждения теоретических выкладок о характере изменения токов и напряжений в цепи.

Выводы записать в отчет.

Таблица 2.14

Измеряемое сопротивление		I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	U_1, B	U_{AB}, B	U_5, B
R_3	Меньше							
	Больше							
R_4	Меньше							
	Больше							
R_5	Меньше							
	Больше							

Преобразование треугольника резисторов в эквивалентную звезду

Цель лабораторной работы — проверить на опыте возможность замены треугольника резисторов эквивалентной звездой.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.7 или [2], § 3-13.

1. Для упрощения расчета электрической цепи часто приходится заменять некоторую часть этой цепи другой,

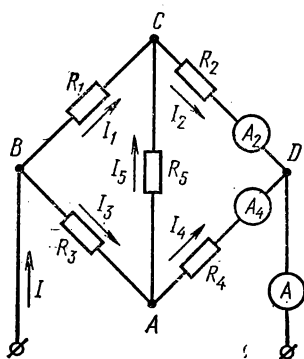


Рис. 2.18

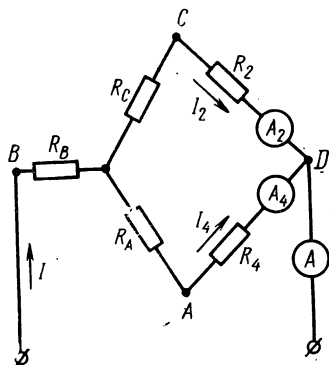


Рис. 2.19

имеющей более простую схему. Такая замена не должна отразиться на потребителях и генераторах, не затронутых преобразованием, т. е. сила токов, мощности, падения напряжений должны остаться без изменений.

Рассмотрим схему рис. 2.18. Рассчитать ее методом свертывания невозможно, так как здесь нет ни последовательно, ни параллельно соединенных резисторов. В схеме имеются два треугольника ABC и ACD и две трехлучевые звезды с центрами в точках C и A .

Если заменить любую звезду треугольником или треугольник звездой, то схема будет содержать последовательное и параллельное соединение и может быть легко упрощена.

2. Прежде чем перейти к расчету, целесообразно резисторы обозначить, используя буквенные индексы вместо цифровых. Условимся, что резисторы, составляющие звезду, будут иметь индекс из одной буквы, а резисторы, образующие треугольник, — из двух букв. Выберем треугольник ABC , обозначим его резисторы по-новому:

$$R_1 = R_{BC}, \quad R_2 = R_{AB}, \quad R_3 = R_{CA}.$$

На рис. 2.19 показана схема с эквивалентной звездой, где резисторы R_A , R_B и R_C имеют другое сопротивление по сравнению с R_{AB} , R_{BC} и R_{CA} на предыдущей схеме.

Легко заметить, что буквенные индексы выбраны соответственно названиям тех трех точек, которые лежат в вершинах звезды и треугольника.

Формулы для расчета сопротивлений эквивалентной звезды:

$$R_A = \frac{R_{AB}R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}, \quad R_B = \frac{R_{BC}R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}},$$

$$R_C = \frac{R_{CA}R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}.$$

Для расчета сопротивлений эквивалентного треугольника используют формулы:

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C}, \quad R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A},$$

$$R_{CA} = R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B}.$$

Если в звезду входят три одинаковых резистора (симметричная звезда), то после преобразования ее получим симметричный треугольник, у которого

$$R_{AB} = 3R_A, \text{ т. е. } R_{\Delta} = 3R_Y \text{ или } R_Y = R_{\Delta}/3.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Как соединены резисторы в схеме рис. 2.18?
3. Какие фигуры этой схемы целесообразно преобразовать для упрощения расчета?
4. Заменить в схеме рис. 2.18 треугольник ACD эквивалентной звездой. Начертить новую схему.
5. Заменить в схеме рис. 2.18 звезду с центром в точке C эквивалентным треугольником. Начертить новую схему.

6. Для схемы вопроса 4 записать формулу эквивалентного сопротивления всей цепи.

7. Для схемы вопроса 5 записать формулу эквивалентного сопротивления всей цепи.

8. Написать формулу для расчета сопротивления эквивалентной звезды.

9. Написать формулу для расчета сопротивления эквивалентного треугольника.

10. Написать формулу для расчета сопротивления эквивалентного симметричного треугольника.

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.15

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		1	
Реостат		5	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.20) для измерения сопротивления реостатов, используемых в схеме рис. 2.18, и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить движок реостата в положение, соответствующее заданному преподавателем значению сопротивления. Результаты записать в табл. 2.16. Повторить измерения для всех реостатов.

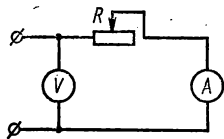


Рис. 2.20

Внимание! После установки сопротивлений реостатов их движки не перемещать.

3. Собрать цепь (см. рис. 2.18) и показать ее преподавателю для проверки.

4. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Измерить силу токов и напряжения, записать их в табл. 2.17.

5. Рассчитать сопротивления эквивалентной звезды R_A , R_B , R_C (см. рис. 2.19) и записать их в табл. 2.16.

6. Собрать цепь (см. рис. 2.20). Установить движок реостата в положение, соответствующее рассчитанному значению сопротивления. Контроль производить по пока-

Таблица 2.16

Величина		Реостат							
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_A	R_B	R_C
U	В	Из опыта							
I	А								
R	Ом	Задано					Из расчета		

Таблица 2.17

Соединение участка ABC	I, A	I_2, A	I_4, A	U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CD}, B	U_{DA}, B	U_{AC}, B
Δ								
Y								

Таблица 2.18

U, B	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CD}, B	U_{DA}, B	U_{AC}, B

заниям приборов. Результаты измерений записать в табл. 2.16.

7. Собрать цепь (см. рис. 2.19) и показать ее преподавателю для проверки.

8. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Измерить силу токов и напряжения, записать их в табл. 2.17.

9. Сравнить результаты измерений по программе п. 4 и 8.

Обработка результатов опытов

1. Для схемы рис. 2.18 по известным значениям напряжения и сопротивлений рассчитать силу токов и паде-

ния напряжения на резисторах. Результаты записать в табл. 2.18.

2. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности замены треугольника эквивалентной звездой; б) причин неполного совпадения опытных значений силы токов и напряжений в цепи соединений треугольником и звездой с расчетными величинами.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Неразветвленная электрическая цепь с одним переменным сопротивлением

Цель лабораторной работы. — исследовать изменение токов, напряжений, мощностей, к. п. д. в неразветвленной цепи при изменении одного из двух сопротивлений, ознакомиться с режимами работы электрической цепи, холостым ходом и коротким замыканием.

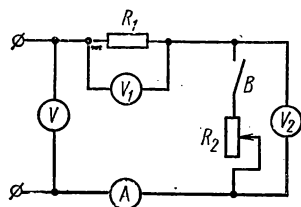


Рис. 2.21

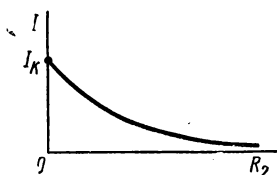


Рис. 2.22

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.3 и задачу 3.1 или [2], § 3-7.

Сила тока в цепи (рис. 2.21) обратно пропорциональна сопротивлению:

$$I = U / (R_1 + R_2),$$

его функция графически изображается гиперболой (рис. 2.22).

Холостой ход можно получить разомкнув выключатель, при этом ток в цепи будет отсутствовать:

$$I_x = U / (R_1 + \infty) = 0.$$

Короткое замыкание получим, если при замкнутом выключателе установим $R_2=0$. В цепи возникает наибольший ток (ток короткого замыкания):

$$I_k = U/(R_1 + 0) = U/R_1.$$

Все остальные значения R_2 соответствуют рабочему режиму.

Падение напряжения на первом резисторе прямо пропорционально силе тока:

$$U_1 = IR_1.$$

Падение напряжения на втором резисторе можно исследовать по формуле

$$U_2 = U - IR_1.$$

Мощность первого резистора пропорциональна квадрату силы тока:

$$P_1 = I^2 R_1,$$

мощность второго резистора

$$P_2 = U_2 I = P - P_1,$$

где $P = UI$ — полная мощность цепи.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = P_2/P = P_2/(P_1 + P_2).$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Почему схему замещения изображают в виде двух резисторов: регулируемого и нерегулируемого?
3. Запишите формулу силы тока для исследуемой цепи.
4. Какие режимы работы цепи вы знаете и чем они характерны?
5. Как изменяется сила тока при изменении сопротивления R_2 ?
6. Как изменяются напряжения U_1 и U_2 при изменении силы тока?
7. Как изменяются мощности P_1 и P при изменении силы тока?
8. Как изменяется мощность P_2 при изменении силы тока?
9. Как изменяется к. п. д. при изменении силы тока?
10. В каком режиме работают радиопередатчик и линия электропередачи? Чем характерны эти режимы?

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		3	
Реостат		2	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.21) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Изменяя сопротивление R_2 от нуля (короткое замыкание) до бесконечности (холостой ход), для 6—8 значений этого сопротивления произвести измерение силы тока и напряжений. При этом одно значение должно обязательно соответствовать случаю, когда

$$I = I_K/2.$$

Результаты измерений записать в табл. 2.20.

Т а б л и ц а 2.20

Из опыта				Из расчета								Режим работы
$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I, А$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R, Ом$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$P, Вт$	$\eta, \%$		

Обработка результатов опытов

1. По полученным данным рассчитать сопротивления, мощности и к. п. д. цепи.

2. Построить графики тока, напряжений, мощностей и к. п. д.:

а) $I=f(R_2)$, б) $U_1, U_2, U=f(I)$, в) $P_1, P_2, P=f(I)$, г) $\eta=f(I_0)$.

3. По лабораторной работе сделать заключение относительно:

а) возможных режимов работы электрической цепи;

- б) характера изменения тока при увеличении R_2 ;
- в) характера изменения напряжений, мощностей и к. п. д. при увеличении силы тока;
- г) условия максимальной мощности P_2 и максимального к. п. д. цепи;
- д) причин неполного соответствия расчетных и опытных результатов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Изучение принципа наложения токов

Цель лабораторной работы — опытная проверка принципа наложения токов.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.8 и задачу 3.26 или [2], §3-12.

1. Если разветвленная электрическая цепь содержит источники в разных ветвях, то для расчета силы токов можно применить метод наложения.

Этот метод заключается в том, что определяется сила частичных токов, возникающих во всех ветвях под действием только одного источника. Э. д. с. остальных источников не учитываются, но учитываются их внутренние сопротивления. Затем рассчитываются токи во всех ветвях от второго, третьего и т. д. источников.

Таким образом, получается, что в каждой ветви существует столько же частичных токов, сколько источников в цепи. Реальный ток в каждой ветви определяется как алгебраическая сумма частичных токов этой ветви.

2. Внутренние сопротивления миллиамперметров и источников, используемых в лабораторной работе, малы, поэтому в расчетах их величиной можно пренебречь. В действительности же они все-таки существуют, поэтому расчетная сила тока будет отличаться от опытной.

В лабораторной работе используются приборы магнито-электрической системы с нулем посередине. Если ток направлен внутри прибора от плюса к минусу, то стрелка отклоняется вправо.

На схеме (рис. 2.23) полярность включения приборов соответствует выбранному направлению реальных токов, поэтому все стрелки должны отклоняться вправо, если

направление токов совпадает с выбранным направлением. Если стрелка отклоняется влево, то направление тока не совпадает с указанным на схеме, а сам ток считается отрицательным.

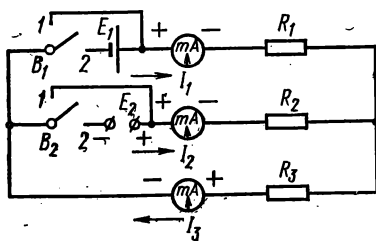


Рис. 2.23

3. По заданным преподавателем значениям сопротивлений резисторов и э. д. с. источников рассчитать цепь методом наложения. Результаты записать в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Способ определе- ния токов	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$I'_1, \text{А}$	$I'_2, \text{А}$	$I'_3, \text{А}$	$I''_1, \text{А}$	$I''_2, \text{А}$	$I''_3, \text{А}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$
Из опыта											
Из рас- чета											

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое частичные токи?
3. В чем заключается метод расчета цепей по принципу наложения?
4. Для исследуемой схемы укажите направление частичных токов от каждого источника.
5. Что означает отклонение стрелки миллиамперметра влево от нулевой отметки?
6. Запишите формулу расчета силы тока в одной из двух параллельных ветвей, если известна общая сила тока и сопротивления ветвей.
7. В каком положении должны быть переключатели $B1$ и $B2$ в схеме рис. 2.23, чтобы в цепи установился ток под действием только первого источника? Только второго источника?
8. Запишите формулы расчета силы частичных токов под действием первого источника в исследуемой схеме.
9. Какие частичные токи считаются положительными, а какие отрицательными при расчете реальных токов?
10. Как проверить правильность расчета или измерения силы токов в схеме рис. 2.23?

Наименование	Тип	Количество	Техническая характеристика
Миллиамперметр		3	
Вольтметр		1	
Магазин сопротивлений		3	
Тумблерный переключатель		2	

Питание от источника регулируемого и источника нерегулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Проверить э. д. с. источника нерегулируемого постоянного напряжения E_1 . Установить с помощью регулятора напряжения $U = E_2$ и сопротивления магазинов согласно п. 3 подготовки к работе.

2. Собрать цепь (см. рис. 2.23) и показать ее преподавателю для проверки.

3. Измерить первые и вторые частичные токи. Результаты записать в табл. 2.21.

4. Измерить реальные токи в цепи, возникающие под действием обоих источников э. д. с.

Обработка результатов опытов

1. Сравнить результаты опытов и расчетов.

2. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) опытного подтверждения принципа наложения токов; б) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Опытная проверка метода эквивалентного генератора

Цель лабораторной работы — проверить на опыте метод эквивалентного генератора и научиться измерять внутреннее сопротивление активного двухполюсника.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.11 и задачу 3.34 или [2], § 3-14.

При расчете некоторых схем (особенно схем замещения) иногда требуется определить силу тока не во всех резисторах, а только в одном, обладающем переменным сопротивлением. Полный многократный расчет такой схемы слишком трудоемок, поэтому можно применить метод эквивалентного генератора (метод холостого хода и короткого замыкания), который значительно упрощает решение подобного рода задач.

На рис. 2.24 изображена мостовая схема, в одну диагональ которой включен источник э. д. с., а в другую — резистор R .

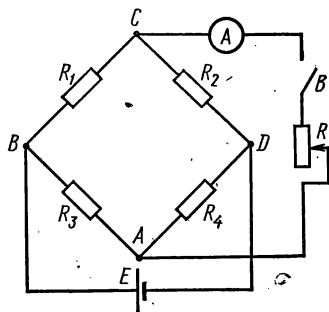


Рис. 2.24

Сила тока резистора R может быть найдена по формуле

$$I = E_g / (R_g + R).$$

Здесь E_g — э. д. с. эквивалентного генератора, содержащего всю цепь, кроме резистора R ; R_g — внутреннее сопротивление эквивалентного генератора.

Опытным путем можно определить E_g с помощью вольтметра, подключенного к точкам A и C , при холостом ходе двухполюсника, т. е. при разомкнутом выключателе B .

Внутреннее сопротивление R_g можно определить по результатам двух опытов: холостого хода и короткого замыкания. Для этого соединяют точки A и C через амперметр и измеряют силу тока короткого замыкания I_k , тогда внутреннее сопротивление рассчитывают по формуле

$$R_g = E_g / I_k.$$

Если короткое замыкание опасно для двухполюсника, то можно измерить силу тока I' и падение напряжения U' на участке AC при каком-либо значении R . Тогда

$$R_g = (E_g - U') / I'.$$

Можно рассчитать или измерить напряжение и силу тока на зажимах двухполюсника при различной нагрузке R , а затем в масштабе построить вольт-амперную характеристику двухполюсника. При этом убеждаемся, что она прямолинейна (рис. 2.25). Ось напряжений пересекается характеристикой в точке $E_a = U$, а ось силы тока — в точке I_K .

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?

2. В каких случаях целесообразно применять метод эквивалентного генератора?

3. Что такое активный и пассивный двухполюсники?

4. В чем заключается расчет по методу эквивалентного генератора?

5. Почему этот метод называют методом холостого хода и короткого замыкания?

6. Какими способами можно определить э. д. с. эквивалентного генератора E_a ?

7. Что такое внутреннее сопротивление двухполюсника?

8. Какими способами можно определить R_a ?

9. Запишите формулу для расчета силы тока I по методу эквивалентного генератора (см. рис. 2.24).

10. Какой вид имеет вольт-амперная характеристика четырехполюсника?

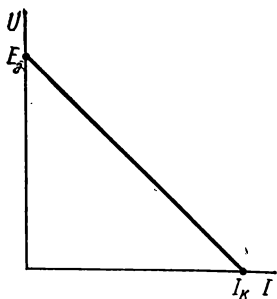


Рис. 2.25

Приборы и оборудование

Таблица 2.23

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Реостат		5	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Изобразить схему для измерения сопротивления реостатов и ознакомить с ней преподавателя.

2. Собрать цепь для измерения сопротивления реостатов, включить ее и установить движок реостата в положение, соответствующее заданному преподавателем значению сопротивления. Результаты записать в табл. 2.24.

Повторить измерения для всех резисторов.

Внимание! После установки сопротивлений реостатов их движки не перемещать.

3. Установить необходимое напряжение регулируемого источника.

4. Собрать цепь (см. рис. 2.24) и показать ее преподавателю для проверки. Измерить э. д. с. эквивалентного генератора и записать ее в табл. 2.25.

Таблица 2.24

Величины	Реостаты				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R
U , В					
I , А					
R , Ом					

5. При коротком замыкании двухполюсника измерить силу тока короткого замыкания I_K и записать в табл. 2.25.

6. По результатам опытов п. 4 и 5 рассчитать внутреннее сопротивление R_a .

7. Рассчитать силу тока I в реостате R , включенном в ветвь АС. Результаты записать в табл. 2.25.

8. К выходным зажимам двухполюсника подключить реостат с сопротивлением R , измерить силу тока I и записать в табл. 2.25.

Обработка результатов опытов

1. Зная значения сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4, R и э. д. с. внутри источника $E=U$, рассчитать методом эквивалентного генератора силу тока I . Результаты записать в табл. 2.25.

2. По точкам холостого хода и короткого замыкания построить вольт-амперную характеристику двухполюсника и отметить на ней точку, соответствующую сопротивлению реостата R .

Таблица 2.25

$E_3, В$	$I_K, А$	$R_3, Ом$	$I, А$		
			Из расчета п. 7 программы работы	Из опыта п. 8 программы работы	Из расчета п. 1 обработки результатов

3. По лабораторной работе сделать заключение относительно:

- а) опытного подтверждения метода эквивалентного генератора,
- б) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Измерение потери напряжения в проводах

Цель лабораторной работы — исследовать модель линии электропередач и установить основные закономерности потери напряжения в проводах при передаче электроэнергии постоянным током на расстояние, т. е. выяснить, от каких факторов зависит величина потери напряжения.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [2], § 3-8

1. Потеря напряжения в проводах исследуется в настоящей лабораторной работе на моделях трех линий: А—а, Б—б, В—в, отличающихся друг от друга длиной l , сечением провода S и удельным сопротивлением материала проводов ρ . Влияние различных факторов на потерю напряжения можно определить по формуле

$$\Delta U = 2I\rho l/S,$$

где I — сила тока в линии (рис. 2.26).

Обычно провода изготавливают из меди ($\rho_m = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$) или алюминия ($\rho_{ал} = 0,029 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$), а иногда из стали ($\rho_{ст} = 0,13—0,25 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$).

Потерю напряжения можно рассчитать и как разность напряжений в начале и в конце линии:

$$\Delta U = U_1 - U_2.$$

Иногда потерю напряжения выражают в процентах

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\%.$$

В практических расчетах e задают в пределах от 2 до 10% и рассчитывают необходимое сечение провода по формуле

$$S = \frac{2P_2 l \rho}{e U_2^2} \cdot 100\%.$$

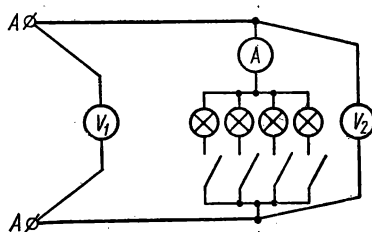


Рис. 2.26

2. Кроме потери напряжения, в линии происходит потеря мощности: провода бесполезно нагреваются. Мощность потерь

$$\Delta P = \Delta U I = P_1 - P_2,$$

где P_1 — мощность генератора; P_2 — мощность потребителя.

Коэффициент полезного действия линии

$$\eta = P_2 / P_1 = U_2 / U_1 = (U_1 - \Delta U) / U_1 = 1 - \Delta U / U_1$$

составляет обычно 90—98%.

Потребители могут включаться не только в конце, но и посередине линии (рис. 2.27), тогда

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2,$$

где $\Delta U_1 = U - U_1$ — потеря напряжения на первом участке линии (А—а); $\Delta U_2 = U_1 - U_2$ — потеря напряжения на втором участке линии (Б—б). Изменение сопротивления одного потребителя вызывает изменение напряжения как у этого, так и у других потребителей. Действительно, при увеличении количества включенных ламп первого потребителя (R_1) увеличивается сила тока I и падение напряжения на первом участке линии (А—а), следовательно, напряжение U_1 уменьшается. Уменьшается и напряжение U_2 , поэтому сила тока второго потребителя также падает.

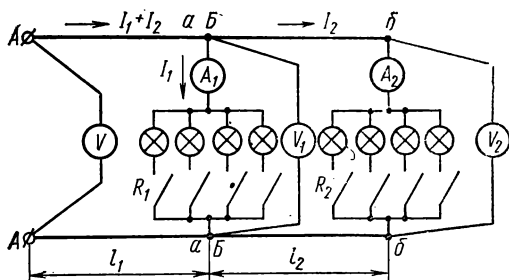


Рис. 2.27

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. От каких факторов зависит сопротивление линии электропередачи?
3. От каких факторов зависит потеря напряжения в проводах?
4. Почему потеря напряжения в проводах считается отрицательным явлением?
5. Какими способами добиваются снижения потери напряжения?
6. По каким формулам можно рассчитать потерю напряжения в проводах?
7. Запишите формулу расчета сечения провода при заданном значении e ?
8. Почему вечером напряжение в городской сети ниже, чем днем?
9. От каких факторов зависит мощность потерь в проводах?
10. От чего зависит к. п. д. линии электропередачи?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.26

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		2	
Вольтметр		3	
Модель линии электропередачи		3	
Ламповый реостат		2	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Используя линию $A-a$, собрать цепь (см. рис. 2.26) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Исследовать влияние силы тока на потерю напряжения в проводах. Результаты записать в табл. 2.27.

Таблица 2.27

Задано					Из опыта			Из расчета				
линия	материал	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$l, \text{ м}$	$S, \text{ мм}^2$	$I, \text{ А}$	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$\Delta U, \text{ В}$	$P_1, \text{ Вт}$	$P_2, \text{ Вт}$	$\Delta P, \text{ Вт}$	$\eta, \%$
$A-a$												
$B-b$												
$B-в$												

3. Повторить исследование для линий $B-b$ и $B-в$.

4. Используя линии $A-a$ и $B-b$, собрать цепь (рис. 2.27) и показать ее преподавателю для проверки.

5. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Исследовать влияние изменения нагрузки R_2 в конце линии на силу тока потребителей и на напряжения в начале, середине и в конце линии. Результаты записать в табл. 2.28.

6. Повторить исследование для изменяющейся нагрузки R_1 .

Т а б л и ц а 2.28

Изменение нагрузки	Из опыта					Из расчета		
	$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\Delta U_1, В$	$\Delta U_2, В$	$\Delta U, В$
R_1								
R_2								

Обработка результатов опытов

1. Рассчитать потери напряжения в линиях, выраженные в абсолютных величинах и в процентах.

2. Для п. 2 и 3 программы работы рассчитать мощность потерь и к. п. д.

3. По лабораторной работе сделать заключение относительно:

а) влияния отдельных факторов на потерю напряжения;

б) зависимости к. п. д. линии передачи от нагрузки. Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Испытание четырехполюсника

Цель лабораторной работы — определить опытным путем постоянные четырехполюсника, параметры схемы замещения и испытать четырехполюсник для заданной нагрузки.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.12 или [2], § 3-15.

1. В лабораторной работе исследуется четырехполюсник с Т-образной схемой замещения (рис. 2.28). Сопро-

тивления R_0, R_1, R_2 являются параметрами четырехполюсника.

Существуют два уравнения, связывающие напряжения и силу токов на входе и выходе:

$$U_1 = AU_2 + BI_2 \text{ и } I_1 = CU_2 + DI_2,$$

где A, B, C и D — постоянные коэффициенты четырехполюсника. Зная параметры, можно рассчитать постоянные для Т-образной схемы:

$$A = 1 + \frac{R_1}{R_0}; \quad B = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_0}; \quad C = \frac{1}{R_0};$$

$$D = 1 + \frac{R_2}{R_0}.$$

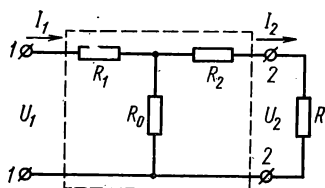


Рис. 2.28

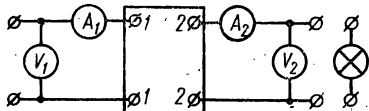


Рис. 2.29

Определив постоянные, можно рассчитать параметры:

$$R_0 = \frac{1}{C}, \quad R_1 = \frac{A-1}{C}, \quad R_2 = \frac{D-1}{C}.$$

Если $R_1 = R_2$, т. е. $A = D$, то четырехполюсник считается симметричным.

Постоянные коэффициенты связаны между собой соотношением

$$AD - BC = 1.$$

2. Постоянные коэффициенты можно определить опытным путем. Для этого следует установить режим холостого хода ($I_2 = 0$) и измерить напряжение и силу тока на входе $U_{1х}$ и $I_{1х}$ (рис. 2.29). Затем при коротком замыкании выходных зажимов измеряют $U_{1к}$ и $I_{1к}$.

Поменяв местами вход и выход, повторяют два опыта и измеряют

$$U_{2х}, I_{2х}, U_{2к}, I_{2к}$$

Отметим, что при этом основные уравнения примут вид:

$$U_2 = DU_1 + BI_1 \text{ и } I_2 = CU_1 + AI_1.$$

Рассчитав сопротивления холостого хода и короткого замыкания по формулам

$$R_{1x} = U_{1x}/I_{1x}, R_{1k} = U_{1k}/I_{1k}, R_{2x} = U_{2x}/I_{2x}, R_{2k} = U_{2k}/I_{2k},$$

определяем постоянные коэффициенты:

$$C = \frac{1}{\sqrt{R_{2x}(R_{1x} - R_{1k})}}, A = CR_{1x}, D = CR_{2x}, B = DR_{1k}.$$

3. Постоянные коэффициенты можно определить и другим способом. Измеряют не только входные, но и выходные величины при холостом ходе и при коротком замыкании:

$$U_{1x}, I_{1x}, U_{2x} \text{ и } U_{1k}, I_{1k}, I_{2k},$$

хотя питается четырехполюсник только с одной стороны.

Расчет ведется по формулам

$$A = \frac{U_{1x}}{U_{2x}}, B = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}, C = \frac{I_{1x}}{U_{2x}}, D = \frac{I_{1k}}{I_{2k}}.$$

4. Рассчитанный и построенный четырехполюсник можно испытать, т. е. проверить U_1 и I_1 при заданных U_2 и I_2 . Для этого проводят два опыта: опыт холостого хода и опыт короткого замыкания. Эти опыты отличаются от соответствующих режимов холостого хода и короткого замыкания тем, что сначала регулятором повышают напряжение U_1 до такой величины, чтобы напряжение при холостом ходе на выходе достигло заданного значения U_2 . Затем делают опыт короткого замыкания, для этого закорачивают выходные зажимы через амперметр и повышают напряжение U_1 до такой величины, чтобы сила тока на выходе достигла заданного значения I_2 , и записывают показания приборов.

По результатам опытов холостого хода и короткого замыкания легко рассчитать входные величины:

$$U_1 = U_{1x} + U_{1k} \text{ и } I_1 = I_{1x} + I_{1k}.$$

Мощности энергии, потребляемой от источника, можно рассчитать по формулам:

$P_{1x} = U_{1x} \cdot I_{1x}$ — мощность опыта холостого хода;
 $P_{1к} = U_{1к} \cdot I_{1к}$ — мощность опыта короткого замыкания;
 $P_1 = U_1 \cdot I_1$ — мощность четырехполюсника с включенной нагрузкой.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое четырехполюсник? Какие бывают четырехполюсники?
3. Изобразите Т-образную и П-образную схемы замещения.
4. Что такое параметры четырехполюсника?
5. Запишите два основных уравнения четырехполюсника.
6. Запишите соотношение между постоянными четырехполюсника.
7. Какую размерность имеют постоянные четырехполюсника?
8. Как следует производить опыт холостого хода и короткого замыкания четырехполюсника?
9. В каких случаях целесообразно использовать теорию четырехполюсника для расчетов?
10. В каких случаях целесообразно использовать теорию четырехполюсника в опыте?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.29

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		2	
Вольтметр		3	
Реостат		3	
Лампа накаливания		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Т а б л и ц а 2.30

Величины		Реостаты			Примечание
		R_0	R_1	R_2	
$U, В$					
$I, А$					
Значение параметров четырехполюсника	$R, Ом$				п. 2 программы работы
	$R, Ом$				п. 4 обработки результатов

Программа работы

1. Изобразить схему для измерения сопротивлений реостатов и ознакомиться с ней преподавателя.

2. Собрать цепь для измерения сопротивления реостатов, включить ее и установить движок реостата в положение, соответствующее заданному преподавателем значению сопротивления.

Результаты записать в табл. 2.30. Повторить измерения для всех реостатов.

Внимание! После установки сопротивлений реостатов их движки не перемещать.

3. Собрать четырехполюсник по Т-образной схеме (см. рис. 2.28), а затем собрать цепь по рис. 2.29 и показать ее преподавателю для проверки.

4. Включить цепь. Установить необходимое напряжение U_1 . Измерить силу тока на входе при холостом ходе и при коротком замыкании четырехполюсника. Результаты записать в табл. 2.31.

5. Повторить опыт п. 4 при питании со стороны зажимов 2—2. Результаты записать в ту же таблицу.

6. Рассчитать номинальный ток лампы $I_{2н}$ по известным мощности $P_{2н}$ и напряжению $U_{2н}$.

7. Для номинального режима потребителя (лампы накаливания) по схеме рис. 2.29 произвести опыт холостого хода и опыт короткого замыкания. Результаты записать в табл. 2.32.

8. Подключить к выходу четырехполюсника лампу накаливания, установить на ней с помощью регулятора номинальное напряжение

Таблица 2.31

Из опыта										Из расчета			
Питание со стороны 1—1					Питание со стороны 2—2								
$U_{1x}, В$	$I_{1x}, А$	$U_{1к}, В$	$I_{1к}, А$	$U_{2x}, В$	$I_{2x}, А$	$U_{2к}, В$	$I_{2к}, А$	A	$B, Ом$	$C, См$	D		

Таблица 2.32

$U_{1x}, В$	$I_{1x}, А$	$U_{2x}, В$	$U_{1к}, В$	$I_{1к}, А$	$I_{2к}, А$

п. 7 программы работы

Таблица 2.33

$U_1, В$	$I_1, А$	$U_{2н}, В$	$I_{2н}, А$	Примечание
				Из п. 8 программы работы
				Из п. 2
				Из п. 3

Обработка результатов

$U_{2н}$. Измеренные напряжения и силы токов на входе и выходе записать в табл. 2.33.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов п. 4 и 5 рассчитать постоянные коэффициенты для Т-образной схемы замещения и записать их в табл. 2.31.

2. Зная коэффициенты A, B, C, D , рассчитать напряжение U_1 и силу тока I_1 на входе четырехполюсника для известных величин $U_{2н}$ и $I_{2н}$ лампы накаливания, включенной на выходе. Рассчитанные величины записать в табл. 2.33 и сравнить их с результатами опыта п. 8.

3. По результатам опытов холостого хода и короткого замыкания (п. 7) рассчитать U_1 и I_1 и сравнить их с результатами предыдущего пункта. Результаты записать в табл. 2.33.

4. Зная коэффициенты A, B, C и D , рассчитать параметры Т-образной схемы замещения. Результаты записать в табл. 2.30 и сравнить их с сопротивлениями, заданными преподавателем.

5. Рассчитать мощность холостого хода P_{1x} и мощность короткого замыкания $P_{1к}$ для заданного режима работы с лампой накаливания.

Рассчитать мощность энергии, потребляемой четырех- полюсником при включенной лампе и процентные величины P_{1x} и P_{1k} от этой мощности. Результаты расчетов записать в табл. 2.34.

Т а б л и ц а 2.34

P_1 , Вт	P_{1x} , Вт	P_{1k} , Вт	$\frac{P_{1x}}{P_1} \cdot 100, \%$	$\frac{P_{1k}}{P_1} \cdot 100, \%$

6. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности экспериментального определения постоянных коэффициентов и параметров четырех- полюсника; б) совпадения расчетных и опытных результатов определения входных величин при заданных выходных величинах; в) потребления мощности при испытаниях четырехполюсника по методу холостого хода и короткого замыкания; г) причин возможного неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Опытная проверка расчета нелинейных цепей

Цель лабораторной работы — ознакомиться с вольт-амперными характеристиками нелинейных резисторов и проверить на опыте графический метод расчета электрических цепей, содержащих нелинейные резисторы.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 3.13 или [2], § 4-1, 4-18.

1. Расчет нелинейных цепей обычно производится графическим методом. Для этого необходимо иметь в. а. х. всех резисторов, которые могут быть получены опытным путем по схеме рис. 2.35.

В настоящей лабораторной работе исследуются лампа накаливания с вольфрамовой нитью и угольный столб.

Если получить вольт-амперные характеристики этих элементов, а затем построить результирующую характеристику (рис. 2.30) для последовательного соединения, то, собрав цепь с последовательным соединением, можно

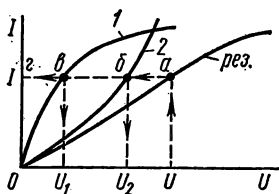


Рис. 2.30

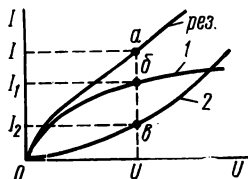


Рис. 2.31

проверить совпадение опытных результатов с графическими построениями.

Аналогично можно поступить и для параллельного соединения (рис. 2.31).

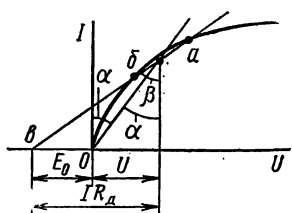


Рис. 2.32

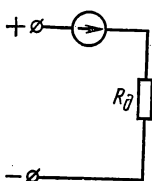


Рис. 2.33

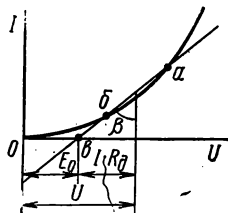


Рис. 2.34

2. Если заведомо известно, что напряжение и сила тока в нелинейном резисторе изменяются в определенном небольшом диапазоне, то с некоторым приближением можно заменить отрезок кривой ab (рис. 2.32) отрезком прямой, пересекающим горизонтальную ось в точке $в$.

Уравнение такой прямой имеет вид

$$U = IR_{\kappa} - E_0,$$

где E_0 — э. д. с. в схеме замещения (см. рис. 2.33) нелинейного резистора; R_{κ} — линейное динамическое сопротивление

$$R_{\kappa} = (U + E_0)/I \equiv \operatorname{tg} \beta.$$

В случае вогнутой вольт-амперной характеристики (рис. 2.34) участок *ab* можно заменить прямой:

$$U = IR_d + E_0.$$

Схема замещения содержит те же элементы, но э. д. с. E_0 направлена встречно с напряжением U .

Кроме динамического сопротивления, существует статическое

$$R_{ст} = U/I \equiv \operatorname{tg} \alpha.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие резисторы считаются линейными, а какие нелинейными?
3. Приведите примеры нелинейных резисторов.
4. Изобразите схему для получения вольт-амперной характеристики резистора.
5. Как графически рассчитать цепь при последовательном соединении нелинейных резисторов?
6. Как графически рассчитать цепь при параллельном соединении нелинейных резисторов?
7. Что такое динамическое сопротивление?
8. Что такое статическое сопротивление?
9. Изобразите схему замещения резисторов с выпуклой вольт-амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.
10. Изобразите схему замещения резистора с вогнутой вольт-амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.35

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		3	
Лампа накаливания		1	
Угольный столб		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Изобразить схему для измерения токов и падений напряжения на двух нелинейных резисторах, соединен-

ных последовательно. Изобразить схему для параллельного соединения этих резисторов. Ознакомить с ними преподавателя.

2. Собрать цепь (рис. 2.35) и показать ее преподавателю для проверки.

3. Изменяя регулятором напряжение от нуля до номинального значения, получить вольт-амперную характеристику. Показания приборов записать в табл. 2.36. Повторить измерения для угольного столба.

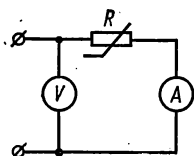


Рис. 2.35

4. Собрать цепь с последовательным соединением резисторов и показать ее преподавателю для проверки.

5. При двух различных напряжениях на зажимах цепи измерить силу тока и падение напряжения на отдельных резисторах. Результаты записать в табл. 2.37.

6. Собрать цепь с параллельным соединением резисторов и показать ее преподавателю для проверки.

Таблица 2.36

Первый резистор			Второй резистор		
U , В	I , А	$R_{ст}$, Ом	U , В	I , А	$R_{ст}$, Ом

7. При двух различных значениях напряжения U измерить силу токов в ветвях и в неразветвленной части цепи. Результаты записать в табл. 2.38.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опыта п. 3 построить в одной системе координат вольт-амперные характеристики нелинейных резисторов.

2. Путем графического сложения построить в той же системе координат результирующие в. а. х. для последовательного и параллельного соединения резисторов.

3. Для двух значений напряжения на зажимах цепи (см. п. 5 программы работы) графически определить силу тока в цепи и падение напряжения на резисторах. Результаты записать в табл. 2.37.

Т а б л и ц а 2.37

$U, В$	Из опыта			Из расчета		
	$I, А$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I, А$	$U_1, В$	$U_2, В$

4. Для двух значений напряжения на зажимах цепи (см. п. 7 программы работы) графически определить силу токов в ветвях и в неразветвленной части цепи. Результаты записать в табл. 2.38.

Т а б л и ц а 2.38

$U, В$	Из опыта			Из расчета		
	$I, А$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I, А$	$I_1, А$	$I_2, А$

5. Для отрезка кривой вольт-амперной характеристики, заключенного между двумя точками, соответствующими двум напряжениям на зажимах цепи схемы замещения, графическим путем определить E_0 схемы замещения каждого резистора.

6. Изобразить схемы замещения, записать уравнения, рассчитать динамические сопротивления каждого резистора для выбранного отрезка вольт-амперной характеристики.

7. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) опытного подтверждения графического метода расчета нелинейных цепей; б) возможности определения R_d , $R_{ст}$, E_0 графическим методом; в) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Измерение магнитной индукции катушки индуктивности

Цель лабораторной работы — изучить влияние силы тока на величину магнитной индукции внутри катушки индуктивности и сравнить опытные результаты с расчетными.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.1, 4.3 или [2], § 5-2, 5-8, 7-5.

1. Магнитное поле, созданное током прямолинейной катушки индуктивности (рис. 2.36), существует как внутри ее, так и снаружи, причем, внутри катушки индукция больше, чем снаружи. Если витки катушки уложены равно-

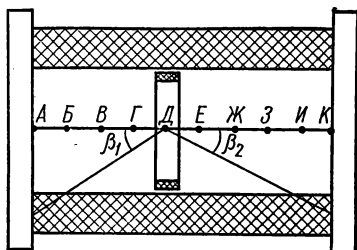


Рис. 2.36

номерно, то в центре ее индукция максимальна, и чем ближе к краям, тем индукция становится меньше. Ее можно вычислить по уточненной формуле:

$$B = \frac{\mu_a I w}{2l} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2),$$

где μ_a — абсолютная магнитная проницаемость среды, в которой создается магнитное поле. Для возду-

ха можно считать, что $\mu_a = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м. Углы β_1 и β_2 даны с учетом конфигурации катушки и точки, где определяется индукция.

Существует другая, упрощенная формула

$$B = \mu_a I w / l,$$

которая тем меньше дает погрешность, чем длиннее и тоньше катушка индуктивности. Эта формула выведена из предположения, что индукция во всех точках, лежащих на оси прямолинейной катушки, одинакова. Для кольцевой катушки это условие выполняется, поэтому для нее формула справедлива без допущений.

2. Магнитная индукция внутри катушки индуктивности может быть измерена специальным прибором — милливеберметром. Стрелка прибора не имеет противодействующей пружины, поэтому может находиться в любом положении. Для установки ее на ноль существует корректор, рукоятку которого можно вращать в любом направлении. Переключатель режимов работы имеет три положения: «корректор», «арретир», «измерение».

Для закрепления подвижной системы во время переноски прибора переключатель должен находиться в положении «арретир».

К зажимам милливексметра подключается плоская измерительная катушка (рамка) с числом витков $w_{и.р.}$, которая закреплена на немагнитном сердечнике. Перемещая сердечник внутри исследуемой катушки, индуктивности, можно поместить измерительную рамку в любую точку на оси.

При включении тока катушки возникнет э. д. с. в рамке и стрелка прибора отклонится на угол α , пропорциональный индукции магнитного поля в данной точке. При выключении тока стрелка переместится на тот же угол, но в обратную сторону.

Рассчитать величину магнитной индукции по показаниям милливексметра можно по формуле

$$B = \alpha \cdot 10^{-4} / w_{и.р.} S_{и.р.},$$

где $S_{и.р.}$ — площадь измерительной рамки, выраженная в квадратных метрах.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое индукция магнитного поля?
3. Запишите формулу магнитной индукции поля, созданного элементарным проводником.
4. Как направлен вектор магнитной индукции?
5. Изобразите магнитное поле прямолинейной катушки индуктивности, укажите направление тока, магнитных силовых линий и векторов магнитной индукции.
6. От каких факторов зависит магнитная индукция?
7. В какой точке поля, созданного прямолинейной катушкой, индукция имеет максимальное значение?
8. Как изменится индукция, если поменять направление тока к катушке или изменить направление намотки катушки?
9. Запишите формулы для расчета индукции внутри катушки и поясните их особенности.
10. Какую форму кривой распределения индукции вдоль оси катушки $B=f(l)$ вы ожидаете получить?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.39

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Милливеберметр		1	
Катушка		1	
Реостат		1	
Измерительная рамка		1	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.37) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Поставить переключатель милливеберметра в положение «измерение» и установить прибор в горизонтальном положении так, чтобы его стрелка не перемещалась вдоль шкалы.

3. При удаленной измерительной рамке включить цепь и установить указанную силу тока. Выключить цепь.

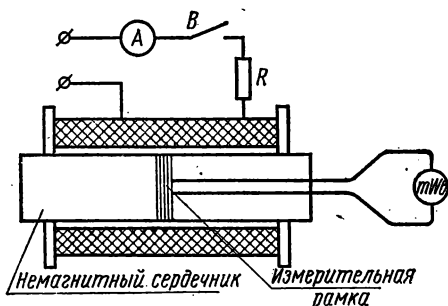


Рис. 2.37

4. Поместить измерительную рамку в крайнюю левую точку катушки (точка А). Поставить переключатель в положение «корректор», а ручкой корректора переместить стрелку в начало шкалы. Возвратить переключатель в положение «измерение».

5. Включить цепь и при этом заметить, на сколько делений отклонилась стрелка прибора. Выключить цепь и снова проконтролировать отклонение стрелки. Среднеарифметическую величину из двух показаний записать в табл. 2.40.

6. Переместить измерительную рамку в точку В. Снова включить и выключить цепь, измеряя отклонение подвижной системы. Повторить измерения для всех указанных точек.

7. Установить измерительную рамку в центре катушки и измерить индукцию при трех-четырех значениях силы тока. Результаты записать в табл. 2.40.

Т а б л и ц а 2.40

Точка измерения	I, A	Из опыта			Из расчета		
		$C_B, T/дел.$	$\alpha, дел$	B, T	$\beta_1, рад$	$\beta_2, рад$	B, T

8. С помощью мерительного инструмента определить основные размеры исследуемой катушки и измерительной рамки. Записать число витков рамки.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов п. 5, 6, 7 вычислить индукцию в каждой точке.

2. Начертить в масштабе испытываемую катушку индуктивности и графическим способом определить углы β_1 и β_2 .

3. Рассчитать магнитную индукцию в различных точках катушки по упрощенной и уточненной формулам. Результаты записать в табл. 2.40.

4. По полученным данным из расчета и из опыта построить график распределения магнитной индукции по оси катушки.

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) распределения индукции внутри катушки; б) зависимости индукции от силы тока в катушке; г) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Измерение магнитного напряжения

Цель лабораторной работы — исследовать магнитное напряжение внутри и вне катушки индуктивности, определить, от каких факторов зависит магнитное напряжение и намагничивающая сила, научиться измерять число витков катушки.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.11 или [2], § 5-4.

1. Магнитное напряжение и намагничивающую силу можно измерить с помощью милливеберметра и магнитного пояса (пояс Роговского), который представляет собой катушку с гибким неферромагнитным сердечником (кожа, брезент, резина). Витки намотаны равномерно по

всей длине в два слоя. Выводы витков пояса присоединяются к миллиамперметру.

При включении и выключении постоянного тока катушки (рис. 2.40) в витках магнитного пояса наводится э. д. с. Отклонение подвижной системы миллиамперметра пропорционально магнитному напряжению между двумя точками, в которых находятся концы пояса.

2. На рис. 2.38 показано положение пояса для измерения магнитного напряжения между точками *А* и *Б* по внешней линии, а на рис. 2.39 — по внутренней линии. Если концы пояса соединить вместе, то получим замкнутый контур (см. рис. 2.40) и по миллиамперметру можно будет измерить намагничивающую силу.

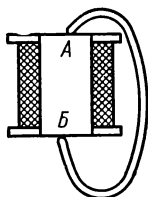


Рис. 2.38

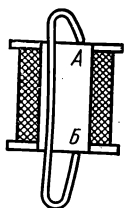


Рис. 2.39

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В чем заключается отличие индукции от напряженности магнитного поля?
3. Как определить направление вектора напряженности, если известно направление тока?
4. Что такое магнитное напряжение? В каких единицах оно измеряется?
5. Как вычисляется магнитное напряжение для криволинейного отрезка, находящегося в неоднородном поле?
6. Что такое намагничивающая сила?
7. Что называется полным током?
8. В чем заключается закон полного тока?
9. Запишите уравнение закона полного тока для катушки.
10. Как устроен магнитный пояс?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.41

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Миллиамперметр		1	
Катушка		1	
Реостат		1	
Магнитный пояс		1	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Используя катушку индуктивности с известным числом витков, собрать цепь для измерения намагничивающей силы (см. рис. 2.40) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Переключатель милливексметра поставить в положение «корректор». Включить цепь и установить необходимую силу тока.

Выключить цепь, перевести стрелку милливексметра в начало шкалы, а затем поставить переключатель в положение «измерение».

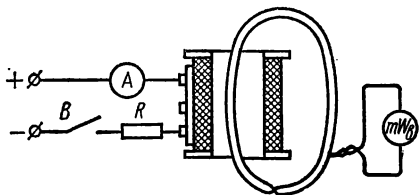


Рис. 2.40

3. Включить и выключить цепь, заметить отклонения стрелки милливексметра.

Среднеарифметическое значение записать в табл. 2.42. Повторить измерения для двух других значений силы тока.

Таблица 2.4.

Объект измерения	Из опыта		w , вит	Из расчета		
	α , дел	I , А		U_m , А	$C_{п.р.}$, А/дел	$C_{п.р.}$, А/дел
Вся катушка						
Внутри катушки						
Вне катушки						
Секция № 1						
Секция № 2						

4. Измерить магнитное напряжение между точками А и В вне и внутри катушки (рис. 2.38 и 2.39) для одного из значений силы тока п. 3 программы работы.

5. Измерить намагничивающую силу для отдельных секций катушки. Результаты записать в табл. 2.42.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов п. 3 определить постоянную милливеберметра по формуле

$$C_{\text{п}} = I\varpi/\alpha.$$

2. По результатам опытов п. 4 рассчитать магнитное напряжение между точками *A* и *B* внутри и вне катушки по формуле

$$U_{\text{м}} = C_{\text{п.ср}}\alpha,$$

где $C_{\text{п.ср}}$ — среднее значение постоянной милливеберметра, определенное как средняя арифметическая величина из трех измерений п. 3.

Сравнить эти магнитные напряжения с намагничивающей силой катушки, измеренной в п. 3 для такого же значения силы тока.

3. По результатам п. 5 рассчитать число витков секций катушки

$$\varpi = C_{\text{п.ср}}\alpha/I.$$

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности измерения намагничивающей силы и магнитного напряжения с помощью магнитного пояса; б) опытного подтверждения определения магнитных напряжений и намагничивающей силы; в) факторов, от которых зависит магнитное напряжение и намагничивающая сила.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

Исследование петли магнитного гистерезиса

Цель лабораторной работы — научиться опытным путем получать основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса, исследовать магнитные свойства сердечника, изготовленного из электро-

технической стали, выявить степень насыщения сердечника, определить остаточную индукцию и коэрцитивную силу.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.7, 4.9 или [2], § 6-1, 6-2, 6-3.

Свойства ферромагнитных веществ удобно выражать графически в виде основной кривой намагничивания и петли магнитного гистерезиса (рис. 2.41). Существует несколько способов получения этих графиков. В лабораторной работе используется способ с применением электронного осциллографа (см. рис. 2.42).

На образец, изготовленный из исследуемого ферромагнитного материала, наложены две обмотки: намагничивающая w_1 и измерительная w_2 . Цепь питается переменным током. Если на вертикально отклоняющие пластины осциллографа подать напряжение U_C с зажимов конденсатора, а на горизонтально отклоняющие пластины — напряжение U_{R1} с резистора R_1 , то на экране появится петля магнитного гистерезиса, так как $U_C \equiv B$, а $U_{R1} \equiv H$.

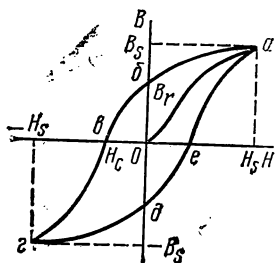


Рис. 2.41

Изменяя силу тока намагничивающей обмотки, можно получить различные степени насыщения сердечника и различные петли магнитного гистерезиса.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Как образуется магнитный момент и каковы его свойства?
3. Что такое намагниченность?
4. Каковы особенности магнитной проницаемости ферромагнетиков?
5. Изобразите график функции $\mu_a = f(H)$.
6. Изобразите основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса.
7. Что такое B_r и H_c ?
8. Что такое магнитное насыщение?
9. Что такое потери на гистерезис?
10. Каковы особенности магнитотвердых и магнитомягких ферромагнетиков?

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Электронный осциллограф		1	
Реостат		1	
Резистор		1	
Батарея конденсаторов		1	
Испытуемый образец		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.42), подготовить осциллограф к работе:

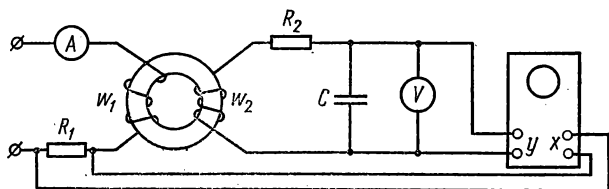


Рис. 2.42

- заземлить корпус прибора с помощью специальной клеммы (рис. 2.43);
- убедиться в правильности установки переключателя напряжения сети на требуемое напряжение;
- включить шнур питания прибора в розетку;
- включить выключатель «Сеть»;
- поставить переключатель «Род работы» в положение «Усилит.», а переключатель «Род синхр.» в положение «Внеш.»;
- отрегулировать яркость и фокусировку так, чтобы световое пятно было маленьким, круглым и не особенно ярким;

ж) установить ручку «Смещ. Х» и «Смещ. У» так, чтобы пятно находилось в центре экрана.

Ручкой «Синхр.» можно регулировать амплитуду развертывающего напряжения. Ручкой «Делитель» и «Уси-

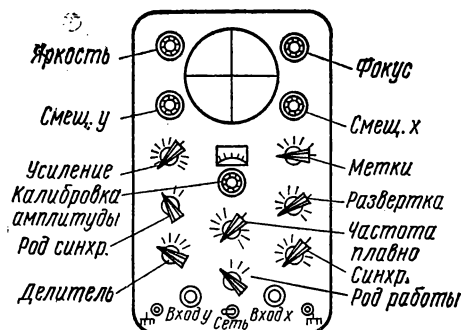


Рис. 2.43

ление» можно регулировать усиление по вертикали. **Внимание!** Положение ручек «Синхр.», «Делитель» и «Усиление» до конца опытов не изменять*.

2. Включить цепь. Для 4—5 значений силы тока в намагничивающей обмотке скопировать с экрана на кальку петлю гистерезиса, добиваясь насыщения магнитной системы. Для насыщенного цикла измерить силу тока I и напряжение на конденсаторе U_C .

Результаты записать в табл. 2.44.

3. С помощью мерительного инструмента определить основные размеры исследуемого сердечника. Записать число витков катушек W_1 и W_2 .

Обработка результатов опытов

1. По результатам опыта рассчитать максимальную индукцию насыщения по формуле

$$B_S = \sqrt{2} U_C R_2 C / \omega_2 S,$$

где C — емкость конденсатора; S — площадь поперечного сечения сердечника.

* Здесь приведена инструкция пользования приборам С1-5.

дуемого сердечника к магнитомягким или магнитотвердым веществам.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

Встречная э. д. с. в электродвигателе

Цель лабораторной работы — изучить зависимость э. д. с. электромагнитной индукции от скорости движения проводника и влияние скорости на величину тока в проводнике.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.17, 4.18 или [2], § 7-1, 7-3.

1. В лабораторной работе исследуется электродвигатель постоянного тока, на валу которого закреплен шкив (рис. 2.45). Изменяя натяжение пружины ленточного тормоза, можно изменять скорость вращения якоря. Измерение скорости производится по счетчику оборотов. Для этого по секундной стрелке часов замечают отрезок времени t , за которое якорь сделает N оборотов. Скорость вращения можно рассчитать по формуле

$$n = 60N/t,$$

где t измеряется в секундах, а n — в об/мин.

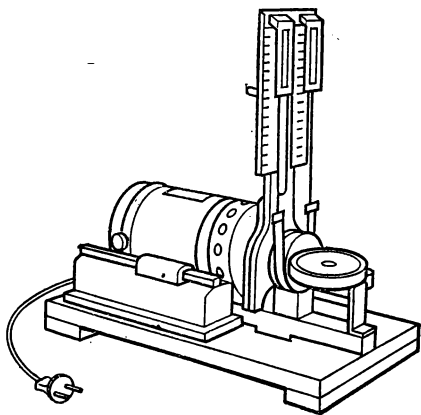


Рис. 2.45

2. Рассмотрим возникновение э. д. с. электромагнитной индукции в якоре электродвигателя постоянного тока. В проводниках якоря под действием источника электрической энергии (генератора) возникает ток. Проводники находятся в магнитном поле, создаваемом полюса-

ми, поэтому возникает электромагнитная сила и проводники вместе с якорем начинают двигаться.

Направление движения определяется по правилу левой руки.

Как только проводник начал двигаться, в нем возникает э. д. с. Применяя правило правой руки, находим, что э. д. с. направлена против тока, поэтому ее и называют противо-э. д. с. или встречной э. д. с. Величина этой э. д. с. может быть рассчитана по формуле Фарадея

$$E = Blv,$$

при условии, что проводники, вектор индукции и вектор скорости взаимно перпендикулярны.

Сила тока в проводнике

$$I = (U - E)/R_0 = (U - Blv)/R_0,$$

где R_0 — сопротивление движущегося проводника (сопротивлением подводящих проводов пренебрегаем).

Из формулы следует, что с уменьшением скорости уменьшается э. д. с., а сила тока возрастает. При $v=0$ (якорь двигателя заторможен) сила тока максимальна:

$$I_k = U/R_0,$$

такой режим называют коротким замыканием двигателя. Отсюда следует, что сопротивление двигателя можно найти по результатам измерения напряжения и силы тока в якоре при коротком замыкании

$$R_0 = U/I_k.$$

Противо-э. д. с. всех проводников якоря, т. е. всего двигателя в процессе вращения, можно определить по формуле

$$E = U - IR_0.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В каком случае возникает э. д. с. электромагнитной индукции?
3. Запишите формулы Фарадея и Максвелла для э. д. с. электромагнитной индукции.
4. Как определить направление э. д. с., возникающей в движущемся проводнике?
5. Сформулируйте закон Ленца.
6. Как изменится направление электромагнитной силы, если по-

менять направление: а) тока, б) индукции магнитного поля, в) тока и индукции магнитного поля?

7. Как изменится направление э. д. с., электромагнитной индукции, если поменять направление: а) скорости, б) индукции магнитного поля, в) скорости и индукции магнитного поля?

8. Запишите формулу силы тока в проводнике, движущемся в магнитном поле?

9. Что такое режим короткого замыкания электродвигателя?

10. Какой вид должны иметь графики $E=f(n)$ и $I=f(n)$?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.45

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Электродвигатель постоянно-тока с ленточным тормозом и счетчиком оборотов		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.46) и показать ее преподавателю для проверки. Тормоз двигателя отпустить.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Постепенно увеличивая торможение до полной остановки якоря, для 5—7 значений скорости записать силу тока якоря в табл. 2.46.

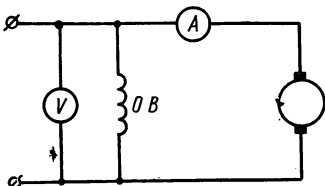


Рис. 2.46

Т а б л и ц а 2.46

Из опыта				Из расчета		Режим работы двигателя
U , В	I , А	N , об	t , с	n , об/мин	E , В	

Обработка результатов опытов

1. Рассчитать скорость вращения якоря.
 2. По результатам короткого замыкания двигателя вычислить сопротивление двигателя.
 3. Вычислить величину встречной э. д. с. для различных значений скорости вращения.
 4. Построить графики $E=f(n)$ и $I=f(n)$.
 5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) зависимости э. д. с. от скорости вращения; б) зависимости силы тока от скорости вращения; в) возможности определения сопротивления двигателя.
- Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

Изучение коэффициентов амплитуды и формы кривой переменного напряжения

Цель лабораторной работы — проверить опытным путем величину коэффициента амплитуды и коэффициента формы кривой переменного и выпрямленного напряжения.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 5.3 или [2], § 9-4, 9-5, 9-6.

1. Принцип действия электроизмерительных приборов таков, что некоторые приборы измеряют действующее значение, а некоторые среднее или максимальное.

Например, у амперметров и вольтметров электромагнитной системы угол отклонения подвижной системы пропорционален действующему значению; у приборов магнитоэлектрической — среднему значению за период, а у амплитудных вольтметров электронной системы — максимальному. Осциллографы позволяют измерять не только максимальное, но и мгновенное значение.

Отношение максимального значения к действующему называют коэффициентом амплитуды

$$k_a = I_m / I.$$

Для синусоидально изменяющейся величины любой частоты и амплитуды независимо от физического смысла

$$k_a = \sqrt{2} = 1,41.$$

Таким образом,

$$I = 0,707 I_m.$$

Отношение действующего значения к среднему называют коэффициентом формы

$$k_\phi = I/I_{cp}.$$

Для синусоидально изменяющихся величин

$$k_\phi = \pi/2\sqrt{2} = 1,11,$$

таким образом,

$$I_{cp} = 0,637 I_m.$$

2. Если кривая переменного тока несинусоидальна, то коэффициенты амплитуды и формы отличаются от указанных значений. Кривые могут иметь заостренную и уплощенную форму. Чем острее форма кривой, тем больше эти коэффициенты, для уплощенной кривой они близки к единице. Если полуволна имеет прямоугольную форму (рис. 2.47), то это равносильно постоянному току за полупериод, поэтому $k_a = k_\phi = 1$.

Для выпрямленного однополупериодного тока коэффициенты

$$k_a = 2\sqrt{2} = 2,82, \quad k_\phi = 1,11.$$

Для выпрямленного двухполупериодного тока коэффициенты

$$k_a = 1,41 \text{ и } k_\phi = 1,11,$$

т. е. остаются такими же, как для синусоидального тока. При включении сглаживающего фильтра (конденсатора) $k_a < 1,41$ и $k_\phi < 1,11$.

Рассмотренные коэффициенты справедливы не только для синусоид тока, но и для синусоид напряжения и э. д. с.

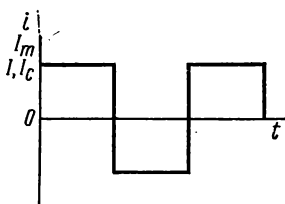


Рис. 2.47

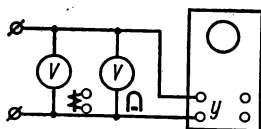


Рис. 2.48

Электрический ток через линейный резистор и падение напряжения на нем имеют одинаковую форму кривой. Это позволяет использовать в лабораторной работе вместо амперметров более удобные приборы: вольтметр и осциллограф.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Напишите формулу, связывающую максимальное и действующее значения переменного тока.
3. Напишите формулу, связывающую максимальное и среднее значения переменного тока.
4. Чему равно среднее значение синусоидального тока за период?
5. Запишите формулы k_a и k_f .
6. Чему равны k_a и k_f для синусоидального тока?
7. Чему равны k_a и k_f для переменного несинусоидального тока?
8. Изобразите на графике периодические кривые тока заостренной и уплощенной формы.
9. Изобразите на графике несинусоидальные кривые выпрямленного однополупериодного и двухполупериодного тока.
10. Какие системы электроизмерительных приборов измеряют действующее, среднее и максимальное значение?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.47

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Вольтметр электромагнитной системы		1	
Вольтметр магнитоэлектрической системы		1	
Осциллограф электронный		1	
Диод полупроводниковый		1	
Резистор		1	

Питание от источников регулируемого переменного и регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.48) для измерения переменного синусоидального напряжения и показать ее преподавателю для проверки.

2. Подготовить осциллограф к работе, для этого произвести действия, указанные в п. а, б, в, г программы лабораторной работы № 16. Переключатель «Род синхр.» поставить в положение «От сети», поставить переключатель «Род работы» в положение «Непр.».

3. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Выбрать диапазон развертки и ручкой «Частота плавно» добиться стабильности изображения, а ручкой «Синхр.» устранить «проскальзывание» изображения. Установить ручки «Смещ. X» и «Смещ. Y» так, чтобы изображение находилось в требуемом месте экрана. Ручками «Делитель» и «Усиление» можно регулировать изображение по вертикали. Рукоятками «Развертка» и «Частота плавно» можно регулировать частоту следования развертки.

4. Скопировать с экрана на кальку кривую напряжения и, используя масштабную сетку экрана, измерить ее амплитуду A . Результаты измерения записать в табл. 2.48.

Таблица 2.48

Напряжения	Из опыта				Из расчета			
	A, мм	U, В	U _c , В	U _m , В	k _a		k _ф	
					опыт-ный	таблич-ный	опыт-ный	таблич-ный
Синусоидальное						1,41		1,11
Выпрямленное двух- полупериодное						1,41		1,11
Выпрямленное одно- полупериодное						2,82		1,11
Контрольный сигнал					$m_U =$			

5. Подключить цепь к источнику постоянного регулируемого напряжения, который имеет мостовую схему двухполупериодного выпрямления. Повторить измерения п. 4.

6. Повторить измерения п. 4 с включенным фильтром.

7. Собрать цепь (рис. 2.49) выпрямленного однопериодного напряжения и показать ее преподавателю для проверки.

8. Повторить измерения п. 4.

9. Повторить измерения п. 4 с включенным фильтром.

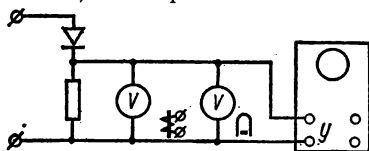


Рис. 2.49

10. Не изменяя усиления осциллографа, подать контрольный сигнал на вход «У». Используя масштабную сетку экрана, измерить амплитуду контрольного сигнала. Записать действующее значение контрольного сигнала, которое приводится в описании осциллографа или указывается преподавателем.

Обработка результатов опытов

1. По результатам измерения контрольного сигнала рассчитать масштаб напряжений:

$$m_U = \sqrt{2} U/A,$$

где A — амплитуда кривой, измеренная в миллиметрах по масштабной сетке, U — действующее значение контрольного сигнала.

2. Рассчитать амплитудное значение измеренных напряжений по формуле

$$U_m = A m_U.$$

3. По результатам опытов рассчитать коэффициенты k_a и k_ϕ и записать их значения в табл. 2.48.

4. Сравнить опытные значения коэффициентов с расчетными.

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) величин k_a и k_ϕ для различной формы кривых; б) причин неполного совпадения опытных и расчетных значений коэффициентов.

6. Выводы записать в отчет. Приложить к отчету копии кривых.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

Последовательное соединение активного и реактивного элементов

Цель лабораторной работы — изучить неразветвленную цепь переменного тока, содержащую активное и реактивное сопротивление (индуктивное или емкостное), построить векторные диаграммы и треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 5.8, 5.9 или [2], § 10-6, 10-7.

1. В цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность, вектор активного напряжения совпадает с вектором тока, вектор индуктивного напряжения опережает ток на угол 90° (рис. 2.50).

Полное напряжение равно геометрической сумме напряжений на отдельных участках:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$$

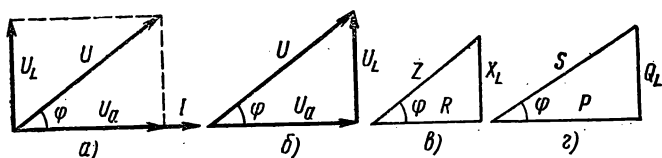


Рис. 2.50

и опережает вектор тока на угол φ .

Полное сопротивление цепи

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + x_L^2}$$

содержит активную и индуктивную составляющие:

$$R = U_a/I, \quad x_L = U_L/I.$$

Полная мощность цепи

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q_L^2},$$

где $P = U_a I$ — активная мощность; $Q_L = U_L I$ — индуктивная мощность.

Применяя закон Ома, можно записать формулы для расчета мощностей:

$$S = I^2 Z = U^2/Z, \quad P = I^2 R = U_a^2/R, \quad Q_L = I^2 x_L = U_L^2/x_L.$$

На основе векторной диаграммы можно построить треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей (см. рис. 2.50, б, в, г). Все эти треугольники подобны, причем в противоположность треугольникам напряжений треугольники мощностей и сопротивлений состоят из отрезков, а не из векторов, так как сопротивления и мощности — скалярные величины.

Силу тока в цепи можно определить по закону Ома

$$I = U/Z = U/\sqrt{R^2 + x_L^2}.$$

2. В цепи, содержащей активное сопротивление и емкость, векторная диаграмма и треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей будут иметь отрицательный угол φ , т. е. вектор тока будет опережать вектор напряжения (рис. 2.51, а).

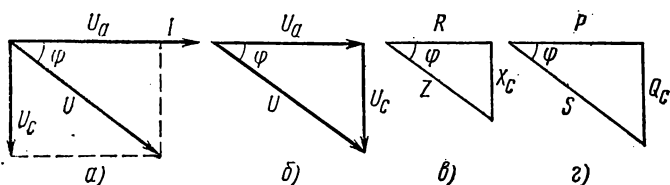


Рис. 2.51

Рассмотрев треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей (см. рис. 2.51, б, в, г), можно записать формулы для цепи, содержащей активное сопротивление и емкость:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_c^2}; \quad Z = \sqrt{R^2 + x_c^2}; \quad S = \sqrt{P^2 + Q_c^2}.$$

Емкостное реактивное сопротивление

$$x_c = 1/2\pi fC.$$

3. Величина угла φ определяется из прямоугольных треугольников, рассмотренных ранее, по формулам:

$$\sin \varphi = U_p/U = x/Z = Q/S, \quad \cos \varphi = U_a/U = R/Z = P/S, \quad \operatorname{tg} \varphi = U_p/U_a = x/R = Q/P,$$

где U_p , x , Q — реактивные напряжение, сопротивление и мощность.

Последние формулы позволяют связать активное и реактивное сопротивления, напряжения и мощности с помощью тригонометрических функций:

$$R = Z \cos \varphi; \quad x = Z \sin \varphi; \quad U_a = U \cos \varphi; \quad U_p = U \sin \varphi;$$

$$P = S \cos \varphi; Q = S \sin \varphi.$$

Особое значение имеет $\cos \varphi$, который называется коэффициентом мощности и входит в формулу активной мощности

$$P = UI \cos \varphi.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Изобразите векторные диаграммы для активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузок.
3. Как рассчитать полное сопротивление, если известны активное и индуктивное сопротивления, соединенные последовательно?
4. Запишите формулу для расчета активной мощности в цепи с активно-индуктивной нагрузкой.
5. Запишите формулы для расчета реактивной мощности в цепи с активно-емкостной нагрузкой.
6. Изобразите треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей для цепи с активно-емкостной нагрузкой. Чем они отличаются от треугольников для активно-индуктивной нагрузки?
7. Запишите формулы для расчета косинуса угла сдвига фаз между векторами напряжения и тока.
8. Запишите формулы для расчета силы тока в цепи, содержащей реальную катушку, реальный конденсатор.
9. Каковы особенности энергетических процессов в цепи с реальной катушкой?
10. Каковы особенности энергетических процессов в цепи с реальным конденсатором?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.49

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Реостат		1	
Батарея конденсаторов		1	
Катушка		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.52) и показать ее преподавателю для проверки.
2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. При двух- и трех различных значениях активного

сопротивления измерить силу тока, напряжение и активную мощность цепи. Результаты записать в табл. 2.50.

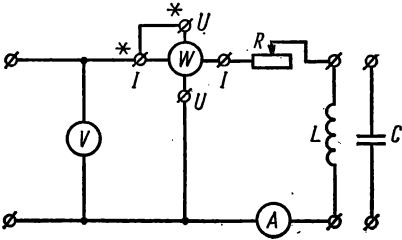


Рис. 2.52

Таблица 2.50

Из опыта			Из расчета										
$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$z, Ом$	$R, Ом$	$x_L, Ом$	$L, Г$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\varphi, рад$	$U_a, В$	$U_L, В$	$S, ВА$	$Q_L, вар$

3. Заменить катушку батареей конденсаторов и повторить опыт п. 2.
Результаты записать в табл. 2.51.

Таблица 2.51

Из опыта			Из расчета										
$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$z, Ом$	$R, Ом$	$x_C, Ом$	$C, Ф$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\varphi, рад$	$U_a, В$	$U_c, В$	$S, ВА$	$Q_C, вар$

Обработка результатов опытов

- По результатам опытов рассчитать напряжения, сопротивления, индуктивность, емкость, мощности, угол φ и его тригонометрические функции. Результаты записать в табл. 2.50 и 2.51.
- С учетом масштабов построить векторную диаграмму действующих значений тока и напряжения для исследуемой цепи.

3. С учетом масштабов построить треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно характера изменения сопротивлений, силы тока, мощностей, угла φ , $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ при изменении активного сопротивления реостата.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20

Параллельные соединения активного и реактивного элементов

Цель лабораторной работы — изучить разветвленную цепь переменного тока, содержащую активное и реактивное сопротивление (индуктивность или емкость), построить векторные диаграммы и треугольники токов, проводимостей и мощностей.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 5.8, 5.9 или [2], § 11-1, 11-2, 11-5.

1. Разветвленная цепь, содержащая активное сопротивление и индуктивность (рис. 2.53), включена в сеть переменного тока. В цепи возникают три тока: I — в неразветвленной части (общий ток), $I_1 = I_a$ — в ветви с ре-

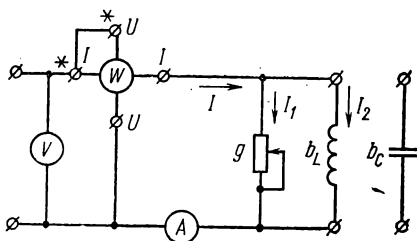


Рис. 2.53

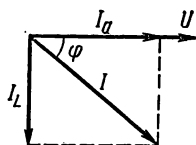


Рис. 2.54

зистором (активный ток), $I_2 = I_L$ — в ветви с индуктивностью (индуктивный ток).

Общий ток равен геометрической сумме двух токов (рис. 2.54):

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_L^2},$$

где I_a и I_L — активная и индуктивная составляющие вектора общего тока, который отстает от вектора напряжения на угол φ , т. е. $\varphi > 0$.

Полная проводимость этой цепи

$$y = \sqrt{g^2 + b_L^2} = \frac{1}{Z} = \frac{I}{U},$$

где $g = 1/R = I_a/U$ — полная проводимость первой ветви; $b_L = 1/x_L = I_L/U$ — индуктивная проводимость второй ветви.

Мощности этой цепи можно записать так:

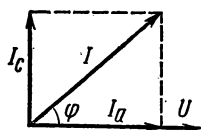


Рис. 2.55

$$P = UI_a, Q_L = UI_L, S = UI = \sqrt{P^2 + Q_L^2}.$$

2. В разветвленной цепи, содержащей активное сопротивление и емкость, вектор общего тока опережает вектор напряжения на угол φ , т. е. $\varphi < 0$ (рис. 2.55).

Для нее аналогично предыдущей цепи можно записать:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_c^2}, S = \sqrt{P^2 + Q_c^2}, y = \sqrt{g^2 + b_c^2}.$$

Угол φ определяется по тригонометрическим функциям:

$$\sin \varphi = \frac{I_p}{I} = \frac{b}{y} = \frac{Q}{S}, \quad \cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{g}{y} = \frac{P}{S},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_p}{I_a} = \frac{b}{g} = \frac{Q}{P},$$

где I_p , b , Q — реактивный ток, проводимость, мощность второй ветви.

Последние формулы позволяют выразить активные и реактивные проводимости, токи и мощности через тригонометрические функции

$$g = y \cos \varphi, I_a = I \cos \varphi, P = S \cos \varphi,$$

$$b = y \sin \varphi, I_p = I \sin \varphi, Q = S \sin \varphi.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Начертите векторные диаграммы для разветвленной цепи с активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузкой.

3. Начертите треугольники токов, проводимостей и мощностей для разветвленной цепи с активно-индуктивной нагрузкой. Чем они отличаются от треугольников для цепи с активно-емкостной нагрузкой?

4. Как рассчитать проводимости для параллельного соединения резистора и идеального конденсатора?

5. Запишите формулы для расчета тригонометрических функций цепи с активно-индуктивной нагрузкой.

6. Запишите формулы для расчета реактивной мощности разветвленной цепи с активно-емкостной нагрузкой.

7. Как рассчитать силу тока в неразветвленной части цепи, если известны токи в двух ветвях: с активной и индуктивной нагрузкой?

8. Как рассчитать силу тока в неразветвленной части цепи, если известны напряжение на ее зажимах и сопротивления ветвей?

9. Изобразите схему замещения реальной катушки с параллельным соединением элементов. Как выбирают величины g и b_L ?

10. Изобразите схему замещения реального конденсатора с параллельным соединением элементов. Как выбирают величины g и b_C ?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.52

Наименование	Тип	Количество	Техническая характеристика
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Реостат		1	
Батарея конденсаторов		1	
Катушка		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.53) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. При двух-трех различных значениях активного сопротивления измерить силу тока и активную мощность цепи.

Результаты записать в табл. 2.53.

3. Заменить катушку батареей конденсаторов. Повторить измерения п. 2.

Нагрузка	Из опыта			Из расчета									
	U , В	I , А	P , Вт	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	φ , рад	I_a , А	I_p , А	y , См	g , См	b , См	S , ВА	Q , вар
Активно-индуктивная													
Активно-емкостная													

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов рассчитать угол φ , его тригонометрические функции, составляющие тока, проводимости цепи, мощность. Результаты записать в табл. 2.53.

2. С учетом масштабов построить векторную диаграмму действующих значений токов и напряжения для цепи с активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузкой.

3. С учетом масштабов построить треугольники токов, проводимостей и мощностей.

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно характера изменения токов, проводимостей, мощностей, угла φ при изменении активного сопротивления.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21

Резонанс напряжений

Цель лабораторной работы — исследовать резонанс напряжений: снять резонансные кривые при переменной индуктивности, определить на опыте соотношения между сопротивлениями отдельных участков и падениями напряжения на них, между активными и реактивными мощностями.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 5.15 или [2], § 10-10.

1. Резонансом напряжений называют такой режим работы неразветвленной электрической цепи, содержащей участки с индуктивностью и емкостью (рис. 2.58), при котором разность фаз напряжения на зажимах цепи и тока на входе цепи равна нулю. При этом сопротивления на реактивных участках равны:

$$2\pi fL = 1/2\pi fC = z_{\text{в}},$$

где $z_{\text{в}} = \sqrt{L/C}$ — волновое сопротивление.

Можно записать формулу частоты сети при резонансе:

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC} = f_0.$$

Резонанс можно получить изменением частоты, индуктивности или емкости цепи. В лабораторной работе предстоит изменять индуктивность передвижением катушки относительно сердечника. Чем дальше от сердечника находится катушка, тем меньше индуктивность и индуктивное сопротивление.

2. В случае резонанса напряжений реактивное сопротивление

$$x = x_L - x_C = 0,$$

следовательно, полное сопротивление равно активному:

$$z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = R.$$

Этим можно воспользоваться для расчета активного сопротивления цепи по показаниям амперметра и вольтметра:

$$R = U/I.$$

При резонансе напряжения сила тока в цепи максимальна, что позволяет на опыте фиксировать точку резонанса по показаниям амперметра.

Падения напряжения на реактивных участках равны между собой:

$$U_L = Ix_L = Ix_C = U_C,$$

кроме того,

$$U_L = U(x_L/R) \text{ и } U_C = U(x_C/R),$$

т. е. они будут больше напряжения на зажимах цепи, если $x_L = x_C > R$. Векторы напряжений U_L и U_C сдвинуты относительно друг друга на угол 180° , поэтому взаимно

компенсируются при сложении:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2} = U_a.$$

Отсюда следует, что напряжение на активном сопротивлении максимально и равно напряжению на зажимах цепи.

Реактивная емкостная и индуктивная мощности также равны между собой:

$$Q_L = I^2 x_L = I^2 x_C = Q_C.$$

Полная мощность будет носить активный характер —

$$S = UI = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C^2)} = P.$$

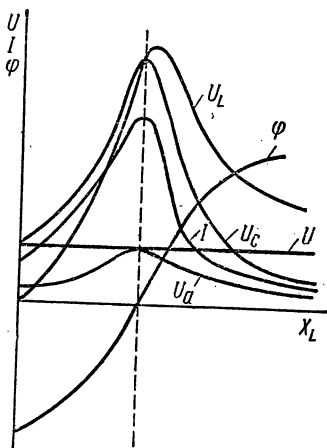


Рис. 2.56

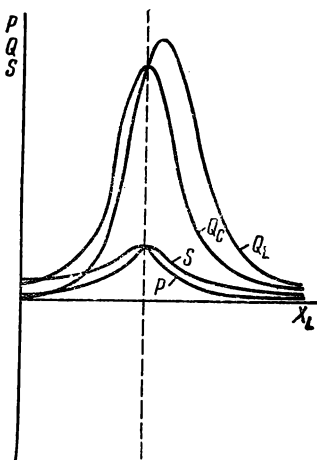


Рис. 2.57

3. Изменение силы тока, напряжений, мощностей, угла φ в зависимости от x_L можно изобразить графически в виде резонансных кривых (рис. 2.56 и 2.57).

Форма резонансных кривых в значительной степени зависит от соотношения активного и волнового сопротивлений в цепи. Это соотношение учитывается добротностью контура

$$Q = z_B / R = \sqrt{L/C} / R.$$

Чем больше добротность, тем более острую форму будут иметь кривые тока, напряжений и мощностей.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что называют резонансом напряжений?
3. Каким образом можно достичь резонанса напряжений?
4. Каковы характерные особенности сопротивлений цепи при резонансе напряжений?
5. Какую величину имеет коэффициент мощности и угол ϕ при резонансе напряжений?
6. Каким образом можно определить на опыте состояние резонанса напряжений?
7. Каковы особенности падений напряжений на отдельных участках исследуемой цепи при резонансе напряжений?
8. Каковы характерные особенности мощностей при резонансе напряжений?
9. Изобразите векторные диаграммы для различных режимов работы исследуемой электрической цепи при

$$x_L < x_C, x_L = x_C, x_L > x_C.$$

10. Что называют добротностью контура?

Приборы и оборудование

Таблица 2.54

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		3	
Ваттметр		1	
Батарея конденсаторов		1	
Катушка		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.58) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимые напряжения на ее зажимах и емкость батареи конденсаторов. При различных положениях катушки относительно сердечника измерить силу тока и напряжения на участках. В табл. 2.55 записать показания приборов для семи — девяти различных положений катушки, в том числе и для резонанса напряжений.

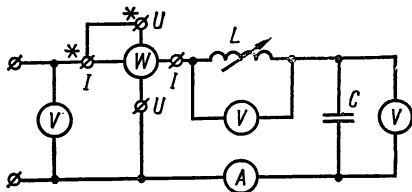


Рис. 2.58

Из опыта					Из расчета										
$U, В$	$U_K, В$	$U_C, В$	$I, А$	$P, Вт$	$R_K, Ом$	$Z_K, Ом$	$x_L, Ом$	$x_C, Ом$	$U_a, В$	$U_L, В$	$Q_L, вар$	$Q_C, вар$	$S, ВА$	$\cos \varphi$	$\varphi, рад$

Обработка результатов опытов

1. Допустив, что конденсатор в исследуемой цепи не имеет потерь, рассчитать активное сопротивление катушки R_K по показаниям амперметра и ваттметра *:

$$R_K = P/I^2.$$

2. Рассчитать полное и индуктивное сопротивления катушки:

$$z_K = U_K/I, \quad x_L = \sqrt{z_K^2 - R_K^2}$$

и емкостное сопротивление конденсатора

$$x_C = 1/2\pi fC.$$

3. Рассчитать активную и индуктивную составляющие вектора напряжения на катушке:

$$U_a = IR_K, \quad U_L = Ix_L.$$

4. Рассчитать индуктивную, емкостную и полную мощности цепи:

$$Q = U_L I, \quad Q_C = U_C I, \quad S = UI.$$

5. Рассчитать косинус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения на входе цепи

$$\cos \varphi = R_K/z_K$$

и определить угол φ .

Результаты расчетов записать в табл. 2.55.

6. По результатам опытов и расчетов построить резонансные кривые:

$$I, U_a, U_L, U_C, U, \varphi = f(x_L) -$$

* Значение R_K может изменяться, так как оно зависит не только от провода катушки, но и от положения катушки относительно сердечника, т. е. от магнитных потерь в сердечнике.

в одной системе координат и

$$P, Q_L, Q_C, S = f(x_L) -$$

в другой системе координат.

7. С учетом масштабов построить векторные диаграммы для трех различных режимов исследуемой цепи:

$$x_L < x_C, x_L = x_C \text{ и } x_L > x_C.$$

8. По лабораторной работе сделать заключение: а) о возможности получения резонанса напряжений путем изменения индуктивности; б) о характере резонансных кривых; в) о причине неполного совпадения опытных результатов с теорией.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22

Резонанс токов

Цель лабораторной работы — исследовать резонанс токов: определить на опыте соотношения между проводимостями отдельных ветвей и токами в них, между активными и реактивными мощностями. Снять резонансные кривые при переменной емкости.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 5.15 или [2], § 11-6.

1. Резонансом токов называют режим работы разветвленной электрической цепи, содержащей ветвь с индуктивностью и ветвь с емкостью (рис. 2.59), при котором разность фаз напряжения на зажимах цепи и тока на входе цепи равна нулю.

Активные проводимости ветвей

$$g_1 = R_1/z_1^2, g_2 = R_2/z_2^2.$$

Реактивные проводимости ветвей

$$b_L = x_L/z_1^2, b_C = x_C/z_2^2.$$

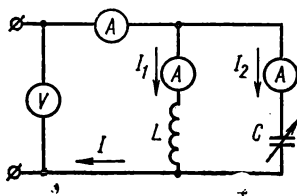


Рис. 2.59

При резонансе токов полная проводимость

$$y = \sqrt{(g_1 + g_2)^2 + (b_L - b_C)^2} = g_1 + g_2.$$

Сила тока первой ветви

$$I_1 = Uy_1 = U\sqrt{g_1^2 + b_L^2},$$

сила тока второй ветви

$$I_2 = Uy_2 = U\sqrt{g_2^2 + b_C^2},$$

где y_1 и y_2 — полные проводимости ветвей.

Вектор тока первой ветви можно представить как сумму двух составляющих — активной и реактивной:

$$I_{a1} = Ug_1 \text{ и } I_L = Ub_L,$$

которые сдвинуты по фазе между собой на угол 90° .

Аналогично для второй ветви:

$$I_{a2} = Ug_2 \text{ и } I_C = Ub_C.$$

Сила токов на входе цепи при резонансе токов

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_L - I_C)^2} = I_{a1} + I_{a2}.$$

Резонанс токов наступает, когда частота вынужденных колебаний питающего генератора равна частоте собственных колебаний цепи.

Для рассматриваемой схемы ее определяют по формуле

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{L/C - R_1^2}{L/C - R_2^2}}.$$

Из анализа этой формулы следует, что резонанса можно добиться путем изменения частоты генератора, индуктивности катушки, емкости конденсатора или активных сопротивлений.

В лабораторной работе предстоит изменять емкость батареи конденсаторов.

2. При резонансе токов

$$b_L = b_C; \quad I_L = I_C; \quad I_L - I_C = 0; \quad I = I_{a1} + I_{a2},$$

т. е. ток чисто активный и, следовательно, совпадает по фазе с напряжением на зажимах цепи ($\varphi = 0$). Кроме того, он минимален, так как отсутствуют реактивные токи.

Если $b_L > g_1$, а $b_C > g_2$, то $I_L > I_{a1}$ и $I_C > I_{a2}$; тогда возможен случай, при котором

$$I_1 > I = I_{a1} + I_{a2} \text{ или } I_2 > I,$$

т. е. сила токов в отдельных ветвях может оказаться больше, чем сила тока на входе цепи.

Активные мощности в ветвях равны:

$$P_1 = I_{a1} U = I_{a1}^2 / g_1 = U^2 g_1,$$

$$P_2 = I_{a2} U = I_{a2}^2 / g_2 = U^2 g_2.$$

Реактивные мощности в ветвях равны:

$$Q_L = I_L U = \frac{I_L^2}{b_L} = U^2 b_L, \quad Q_C = I_C U = \frac{I_C^2}{b_C} = U^2 b_C,$$

кроме того, $Q_L = Q_C$, поэтому

$$S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P_1 + P_2,$$

т. е. полная мощность цепи равна активной. Это означает, что генератор снабжает цепь энергией, превращающейся в теплоту в активном сопротивлении катушки индуктивности и конденсатора.

С увеличением емкостной проводимости b_C возрастают y_2 , y , I_C , I_2 , I , Q_C , S , φ .

Изменение этих величин в зависимости от b_C можно изобразить графически в виде резонансных кривых. На рис. 2.60 приведены такие кривые для случая, когда $R_1 \neq 0$, а $R_2 = 0$.

Форма кривых в значительной степени зависит от добротности контура

$$Q = I_L / I = I_C / I = y_b / g,$$

где $y_b = b_L = b_C$ — волновая проводимость цепи, I_L и I_C — реактивные токи при резонансе. Чем меньше активное сопротивление цепи, тем меньше потери энергии в ней и тем больше добротность контура.

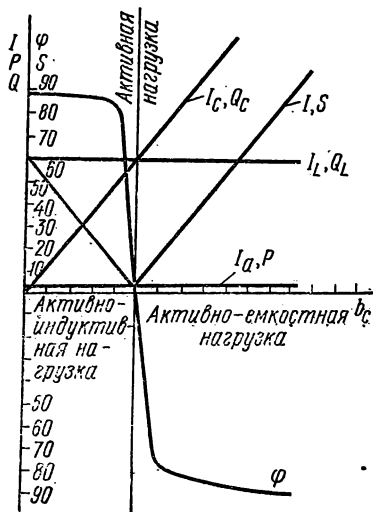


Рис. 2.60

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что называют резонансом токов?
3. Каким образом можно достичь резонанса токов?
4. Каким образом можно определить на опыте и зафиксировать резонанс токов?
5. Каковы характерные особенности проводимости цепи при резонансе токов?
6. Запишите формулу волнового сопротивления и волновой проводимости цепи.
7. Изобразите векторные диаграммы для различных режимов работы исследуемой электрической цепи при

$$b_C < b_L; b_C = b_L; b_C > b_L.$$
8. Какова особенность токов в ветвях при резонансе токов?
9. Какой вид имеют резонансные кривые?
10. Что такое добротность контура и как она влияет на форму резонансных кривых?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.56

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		1	
Батарея конденсаторов		1	
Катушка индуктивности		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.59) и показать ее преподавателю для проверки.
2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Изменяя емкость батареи конденсаторов, записать показания приборов в табл. 2.57 для 7—9 различных значений, в том числе и для резонанса токов.

Т а б л и ц а 2.57

Из опыта				Из расчета									
$U, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I, \text{А}$	$b_C, \text{См}$	$R_k, \text{Ом}$	$z, \text{Ом}$	$x_L, \text{Ом}$	$g, \text{См}$	$b_L, \text{См}$	$I_{a1}, \text{А}$	$I_L, \text{А}$	$\cos \varphi$	$\varphi, \text{рад}$

Обработка результатов опытов

1. Допустив, что конденсатор без потерь, рассчитать по формулам емкостную проводимость второй ветви

$$b_C = y_2 = I_2/U,$$

активное сопротивление первой ветви (катушки) по данным опыта резонанса токов

$$R_k = U/I_{\text{рез}},$$

полное сопротивление первой ветви

$$z_1 = U/I_1,$$

индуктивное сопротивление первой ветви

$$x_L = \sqrt{z_1^2 - R_k^2},$$

активную проводимость первой ветви

$$g_1 = R_k/z_1^2,$$

индуктивную проводимость первой ветви

$$b_L = x_L/z_1^2,$$

активную составляющую вектора тока первой ветви

$$I_{a1} = U g_1,$$

индуктивную составляющую вектора тока первой ветви

$$I_L = U b_L,$$

косинус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения на входе

$$\cos \varphi = \frac{I_{a1}}{I}.$$

Результаты расчетов записать в табл. 2.57.

2. По результатам опытов и расчетов построить резонансные кривые:

$$I_L, I_C, I_{a1}, I, \varphi = f(b_C).$$

3. Построить векторные диаграммы токов для трех различных режимов исследуемой цепи:

$$b_C < b_L, b_C = b_L \text{ и } b_C > b_L.$$

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности получения резонанса токов путем изменения емкости цепи; б) характера изменения резонансных кривых; в) причин неполного совпадения опытных результатов с теорией.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23

Измерение параметров индуктивно связанных катушек

Цель лабораторной работы — измерить индуктивность и взаимную индуктивность катушек, выяснить, как они зависят от числа витков, от наличия стального сердечника, от взаимного расположения катушек.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.19, 6.5 или [2], §7-10, 12-11, 12-12.

1. К параметрам индуктивно связанных катушек относятся такие постоянные величины, как активное сопротивление, индуктивность, взаимная индуктивность. Активное сопротивление зависит от длины, сечения и материала провода, а индуктивность — от конструкции катушки: числа витков, сечения катушки, ее длины и магнитной проницаемости среды (сердечника)

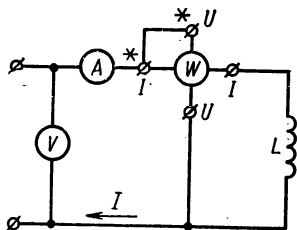


Рис. 2.61

$$L = \frac{\mu_a w^2 S}{l}.$$

Взаимная индуктивность двух катушек зависит от индуктивности каждой из них и от их взаимного расположения. Индуктивность и взаимная индуктивность измеряются единицами генри (Г).

2. Индуктивность может быть вычислена по результатам измерения силы тока, напряжения и активной мощности (рис. 2.61).

Для вычисления можно воспользоваться следующими формулами:

полное сопротивление

$$z = U/I;$$

активное сопротивление

$$R = P/I^2;$$

индуктивное сопротивление

$$x_L = \sqrt{z^2 - R^2};$$

индуктивность катушки

$$L = x_L / 2\pi f.$$

3. Для измерения взаимной индуктивности можно использовать метод согласного и встречного включения двух катушек.

Характерной особенностью согласного включения является сложение магнитных потоков двух катушек и увеличение эквивалентной индуктивности за счет сложения индуктивностей двух катушек со взаимной индуктивностью:

$$L_c = L_1 + L_2 + 2M.$$

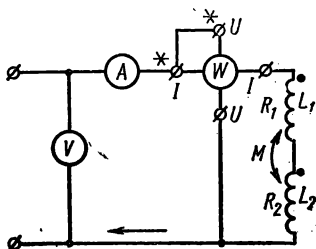


Рис. 2.62

На схемах согласное включение условно обозначается соединением конца первой катушки с началом второй (рис. 2.62). Начала катушек отмечают точкой, а дугообразной стрелкой магнитную связь катушек.

Характерной особенностью встречного включения является вычитание величин магнитных потоков двух катушек и уменьшение эквивалентной индуктивности за счет вычитания величины взаимной индуктивности:

$$L_b = L_1 + L_2 - 2M.$$

Для опытного определения взаимной индуктивности измеряют силу тока в цепи (см. рис. 2.62), напряжение и активную мощность при согласном включении и рассчитывают L_c по формулам, указанным в п. 2. Затем повторяют измерения и расчет для встречного включения. Взаимную индуктивность определяют по формуле

$$M = \frac{L_c - L_b}{4}.$$

По внешнему виду не всегда можно установить, каково соединение катушек: согласное или встречное, так как не всегда видно направление намотки катушек. Для того чтобы выяснить, в каком из двух рассмотренных опытов получается встречное и в каком согласное включение, следует иметь в виду, что при согласном включении индуктивное и полное сопротивления всей цепи больше, чем при встречном ($z_c > z_v$), следовательно, при одном и том же напряжении сила тока меньше, чем при встречном ($I_c < I_v$).

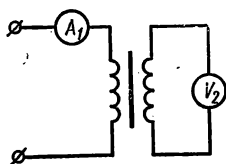


Рис. 2.63

4. Взаимную индуктивность можно определить методом амперметра и вольтметра. Подключив одну из катушек к источнику переменного тока (рис. 2.63), измеряют силу тока в первой катушке и наведенную э. д. с. взаимной индукции во второй. Взаимную индуктивность можно рассчитать по формуле

$$M = U / I \omega,$$

где $\omega = 2\pi f$ — частота источника $f = 50$ Гц.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое согласное и встречное включение катушек?
3. Как определить одноименные зажимы катушек?
4. В чем заключается явление самоиндукции?
5. В чем заключается явление взаимной индукции?
6. Что такое индуктивность, от каких факторов она зависит?
7. Что такое взаимная индуктивность, от каких факторов она зависит?
8. Как измерить индуктивность методом ваттметра?
9. Как измерить взаимную индуктивность методом согласного и встречного включения?
10. Как измерить взаимную индуктивность методом амперметра и вольтметра?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.58

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		2	
Вольтметр		2	
Ваттметр		1	
Универсальный трансформатор		1	
Катушка индуктивности		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.61) для измерения индуктивности катушки и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Измерить напряжение, силу тока и активную мощность каждой секции и всей катушки. Показания записать в табл. 2.59.

Таблица 2.59

Объект измерения	Из опыта			Из расчета			
	U , В	I , А	P , Вт	R , Ом	z , Ом	x_L , Ом	L , Г
1-я секция							
2-я секция							
Вся катушка							

3. Собрать цепь (см. рис. 2.62) для измерения взаимной индуктивности по методу согласного и встречного включения и показать ее преподавателю для проверки.

4. Измерить напряжение, силу тока и активную мощность двух катушек. Результаты записать в табл. 2.60.

Таблица 2.60

Согласное включение							Встречное включение							М, Г
из опыта			из расчета				из опыта			из расчета				
U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	z, Ом	x _L , Ом	L _c , Г	U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	z, Ом	x _L , Ом	L _B , Г	

5. Поменяв зажимы включения второй катушки, повторить измерения.

6. Собрать цепь (см. рис. 2.63) для измерения взаимной индуктивности катушек трансформатора и показать ее преподавателю для проверки.

7. Измерить силу тока в первой катушке и э. д. с. во второй при замкнутом и разомкнутом сердечнике. Результаты записать в табл. 2.61.

Таблица 2.61

№ пп.	Из опыта		Из расчета		Примечание
	I_1 , А	U_2 , В	ω , рад/с	M , Г	
1					Сердечник замкнут Сердечник разомкнут
2					

Обработка результатов опытов

1. По результатам измерений п. 2 рассчитать индуктивность каждой секции и всей катушки.

2. По результатам измерений п. 4 и 5 рассчитать взаимную индуктивность по методу согласного и встречного включения.

3. По результатам измерений п. 7 рассчитать коэффициент взаимной индуктивности по методу амперметра и вольтметра.

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) факторов, влияющих на индуктивность катушки; б) факторов, влияющих на взаимную индуктивность двух катушек; в) методов измерения коэффициентов самоиндукции и взаимной индуктивности.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24

Построение круговой диаграммы неразветвленной цепи

Цель лабораторной работы — по результатам опыта и расчета научиться строить круговые диаграммы и исследовать с их помощью различные режимы работы неразветвленной цепи с переменным активным и индуктивным сопротивлениями.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 6.6, 6.9 или [2], § 13-1, 13-2, 13-3, 13-4.

1. Если необходимо многократно рассчитывать одну и ту же цепь переменного тока, но при изменении только

одного из ее параметров (R , L или C), то целесообразно применять графоаналитический метод расчета — круговую диаграмму.

Возможны четыре простейших варианта сочетания параметров: 1) R и L при переменном R ; 2) R и L при переменном L ; 3) R и C при переменном R ; 4) R и C при переменном C .

В лабораторной работе следуются первый и второй варианты.

2. Цепь с R и L при переменном R . Для построения круговой диаграммы предварительно в электрической цепи (рис. 2.64) измеряют напряжения на входе U , на катушке U_1 и на реостате U_2 , а также силу тока I и активную мощность P в любом режиме. Рассмотрим корот-

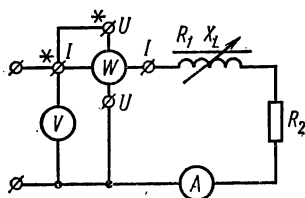


Рис. 2.64

кое замыкание, когда $R_2=0$. Расчет и построение производим в следующем порядке:

1) определяем полное сопротивление цепи при коротком замыкании (сопротивление катушки)

$$Z_k = U/I_k,$$

где I_k — ток короткого замыкания;

2) определяем активное сопротивление цепи при коротком замыкании

$$R_1 = P_k/I_k^2;$$

3) определяем индуктивное сопротивление

$$x_L = \sqrt{Z_k^2 - R_1^2};$$

4) определяем индуктивность катушки

$$L = x_L/2\pi f;$$

5) определяем полную мощность при коротком замыкании

$$S_k = UI_k;$$

6) определяем сдвиг фаз тока и напряжения на входе при коротком замыкании

$$\varphi_k = \text{Arcos}(R_1/z_k);$$

7) выбираем масштабы тока напряжения, сопротивления, мощности: m_I, m_U, m_Z, m_S ;

8) по вертикальной оси (рис. 2.65) откладываем вектор напряжения на входе $\overline{OA} = U/m_U$ и на нем, как на диаметре, строим полуокружность напряжений;

9) под углом φ_K проводим главную линию короткого замыкания и на ней откладываем вектор тока I_K :

$$\overline{OE} = I_K/m_I,$$

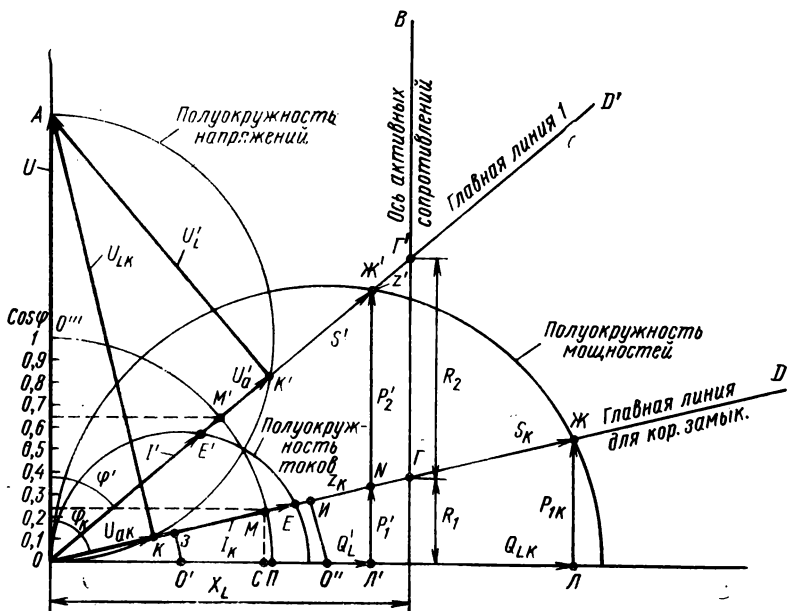


Рис. 2.65

Из центра вектора восстанавливаем перпендикуляр ZO' и из точки O' , как из центра, описываем полуокружность токов;

10) на главной линии откладываем мощность короткого замыкания $\overline{OJ} = S_K/m_S$. Из центра вектора восстанавливаем перпендикуляр HO'' и из точки O'' , как из центра, описываем полуокружность мощностей;

11) откладываем индуктивное сопротивление X_L :

$$\overline{OB} = x_L/m_Z$$

и из точки B восстанавливаем перпендикуляр — линию активных сопротивлений BB . Пересечение этой и главной линий образует точку G , причем, величина R_1 , вычисленная в п. 2, должна совпадать с величиной $R_1 = m_Z \cdot \overline{BG}$, а активная мощность P_K , измеренная ваттметром, совпадать с $P_{1K} = m_S \cdot \overline{LJ}$;

12) измеряя отрезки на круговой диаграмме, можно определить величины:

$$U_{ак} = m_U \cdot \overline{OK}, U_{LK} = m_U \cdot \overline{KA}, Q_{LK} = m_S \cdot \overline{OL};$$

13) опишем из точки O дугу в четверть окружности. Она пересекает главную линию в точке M . Проекция этой точки на вертикальную ось равна $\cos \varphi_K$, если радиус принять за единицу;

14) теперь, когда круговая диаграмма полностью построена, можно откладывать любые сопротивления R_2 по линии сопротивлений

$$\Gamma\Gamma' = R_2 / m_Z.$$

Проводим главную линию I , по ней аналогичным образом определяем величины: $I, U_a, U_L, S, P, Q_L, \cos \varphi$.

3. Цепь с R и L при переменном L . Для построения круговой диаграммы при переменной индуктивности производят те же измерения, что и в предыдущем случае, но изменяют индуктивность. Удалением катушки индуктивности от сердечника невозможно добиться индуктивного сопротивления, равного нулю. Для этого необходимо было бы размотать катушку. Поэтому при коротком замыкании $\varphi_K \neq 0$. Расчет и построение производим в следующем порядке:

1) определяем полное, активное и индуктивное сопротивление:

$$z_K = U / I_K, R_1 + R_2 = P_K / I_K^2, x_L = \sqrt{z_K^2 - (R_1 + R_2)^2};$$

2) определяем индуктивность, полную мощность и угол сдвига фаз тока и напряжения:

$$L = x_L / 2\pi f, S_K = UI_K, \varphi_K = \text{Arcos} \frac{R_1 + R_2}{z_K};$$

3) выбираем масштабы: m_I, m_U, m_Z, m_S ;

4) строим аналогично предыдущему случаю (п. 8) полуокружность напряжений;

5) проводим главную линию под углом φ_K (рис. 2.66) и на ней откладываем I_K и S_K :

$$\overline{OE} = I_K / m_I, \quad \overline{OЖ} = S_K / m_S.$$

Находим точки O' и O'' и строим полуокружности токов и мощностей;

6) аналогично случаю, когда переменны R , определяем напряжения и мощность

$$U_{ак} = mU \overline{OK}, \quad U_{Lк} = mU \overline{KA}, \quad Q_{Lк} = m_S \overline{OL};$$

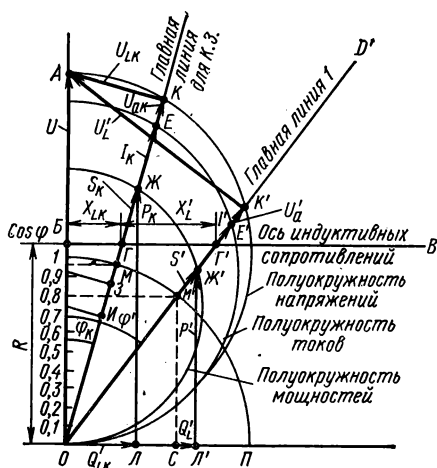


Рис. 2.66

7) откладывая значения индуктивного сопротивления X_L по линии BB' , можно таким же путем построить главную линию 1 и определить интересные нас величины.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В каких случаях целесообразно применять круговые диаграммы?
3. Какие величины необходимо рассчитать, чтобы построить круговую диаграмму?
4. Какие величины можно определить по круговой диаграмме?
5. Как выбирают масштабы величин для построения круговой диаграммы?
6. По каким формулам рассчитывают длины отрезков, необходимых для построения круговой диаграммы?
7. Какие полуокружности необходимо провести, чтобы построить круговые диаграммы?
8. Как по круговой диаграмме определить составляющие вектора напряжения?
9. Как по круговой диаграмме определить мощности?
10. Как по круговой диаграмме определить $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$?

Приборы и оборудование

Таблица 2.62

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр	с индуктивным сердечником	1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Катушка		1	
Реостат		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.64) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Изменяя сопротивление реостата, измерить силу тока, напряжения, активную мощность цепи. В табл. 2.63 записать показания для пяти различных значений, в том числе и для короткого замыкания.

Таблица 2.63

Переменное R					Переменная L				
U , В	U_1 , В	U_2 , В	I , А	P , Вт	U , В	U_1 , В	U_2 , В	I , А	P , Вт

3. Повторить измерения для переменного индуктивного сопротивления. Результаты записать в табл. 2.63.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов короткого замыкания цепи с переменным R и с переменным L рассчитать необходимые величины для построения круговых диаграмм. Результаты записать в табл. 2.64.

Таблица 2.64

z , Ом	R , Ом	x_L , Ом	L , Г	S , ВА	$\cos \varphi$	φ , рад	Переменная величина

2. Построить круговые диаграммы. По ним для различных значений силы тока I определить R , R_1 , R_2 , z_1 , x_L , z , $\cos \varphi$, φ , U_a , U_L , S , P , Q_L . Результаты записать в табл. 2.65.

Таблица 2.65

R , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	z_1 , Ом	x_L , Ом	z , Ом	$\cos \varphi$	φ , рад	U_a , В	U_L , В	S , ВА	P , В	Q_L , вар	Переменная величина

3. По результатам расчета с помощью круговой диаграммы для переменного активного сопротивления построить графики: I , U_a , U_L , S , P , Q_L , $\cos \varphi$, $\varphi = f(R)$.

4. По результатам расчета с помощью круговой диаграммы для переменного индуктивного сопротивления построить графики I , U_a , U_L , S , P , Q_L , $\cos \varphi$, $\varphi = f(x_L)$.

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) целесообразности расчета неразветвленной цепи по методу круговой диаграммы; б) причин неполного соответствия расчетных и опытных результатов.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25

Построение круговой диаграммы разветвленной цепи

Цель лабораторной работы — по результатам опыта научиться строить круговые диаграммы и исследовать с их помощью различные режимы работы разветвленной цепи с переменным активным сопротивлением.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 6.8 и задачу 6.21 или [2], § 13-5.

1. Расчет разветвленных цепей, так же как и неразветвленных, можно проводить с помощью круговых диаграмм.

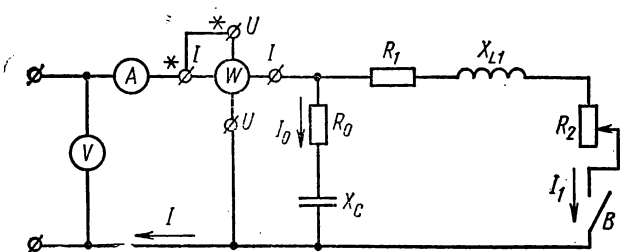


Рис. 2.67

Чтобы построить круговую диаграмму для схемы рис. 2.67, необходимо провести два опыта: холостой ход и короткое замыкание.

При холостом ходе ($R_2 = \infty$) сила тока $I_1 = 0$, амперметр измеряет силу тока в левой ветви — I_0 , а ваттметр измеряет активную мощность этой ветви — P_0 . Величины I_0 и P_0 остаются неизменными при любом значении R_2 .

При коротком замыкании ($R_2 = 0$) амперметр измеряет силу тока на входе I_K , а ваттметр измеряет активную мощность всей цепи P_K .

2. Порядок построения круговой диаграммы по результатам опытов рассмотрим на примере:

$$U = 80 \text{ В}, P_0 = 20 \text{ Вт}, I_0 = 0,43 \text{ А}, P_K = 45 \text{ Вт}, I_K = 1,8 \text{ А}.$$

Предварительно определим необходимые величины. Коэффициент мощности и угол φ_0 левой ветви:

$$\cos \varphi_0 = P_0 / UI_0 = 20 / (80 \cdot 0,43) = 0,58, \varphi_0 = 54^\circ 30',$$

здесь

$$S_0 = UI_0 = 34,4 \text{ ВА},$$

коэффициент мощности и угол φ_K всей цепи при коротком замыкании

$$\cos \varphi_K = P_K / UI_K = 45 / (80 \cdot 1,8) = 0,313; \varphi_K = 71^\circ 50'.$$

Выбираем масштабы тока и напряжения (рис. 2.68):

$$m_I = 0,2 \text{ А/см и } m_U = 10 \text{ В/см.}$$

Производим построение векторов напряжения на оси y :

$$\overline{OA} = U/m_U$$

и тока левой ветви

$$\overline{OB} = I_0/m_I.$$

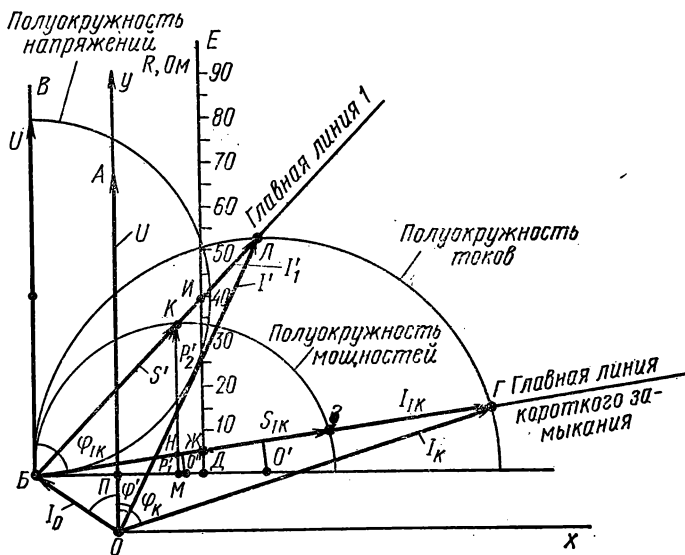


Рис. 2.68

Строим $\overline{BB'}$ — вектор напряжения U и ток в неразветвленной части

$$\overline{OG} = I_K/m_I.$$

Ток I_{IK} равен геометрической разности

$$\overline{I_{IK}} = \overline{I_K} - \overline{I_0}.$$

Строим вектор.

Измерив длину вектора $\overline{BG}$, определяем силу тока в первой ветви

$$I_{IK} = m_I \overline{BG} = 2,08 \text{ А.}$$

На этом векторе, как на хорде, строим полуокружность токов, а на векторе $\overline{БВ}$ полуокружность напряжений.

Активная мощность правой ветви при коротком замыкании

$$P_{1к} = P_k - P_0 = 45 - 20 = 25 \text{ Вт.}$$

Рассчитываем угол сдвига фаз между напряжением на зажимах цепи и током правой ветви при коротком замыкании, а также тригонометрические функции этого угла

$$\cos \varphi_{1к} = P_{1к} / I_{1к} U = 25 / (2,08 \cdot 80) = 0,15; \varphi_{1к} = 81^\circ 23';$$

$$\sin \varphi_{1к} = 0,99.$$

Определяем сопротивление катушки:

$$R_1 = U / I_{1к} \cos \varphi_{1к} = 80 / 2,08 \cdot 0,15 = 5,8 \text{ Ом,}$$

$$x_L = U / I_{1к} \sin \varphi_{1к} = 80 / 2,08 \cdot 0,99 = 38 \text{ Ом.}$$

Выбираем масштаб сопротивления $m_Z = 10 \text{ Ом/см}$ и откладываем отрезок $\overline{БД}$, пропорциональный индуктивному сопротивлению X_L :

$$\overline{БД} = x_L / m_Z.$$

Из точки $Д$ восстанавливаем перпендикуляр $\overline{ДЕ}$ и наносим шкалу сопротивлений в том же масштабе m_Z . Точку пересечения прямых $БГ$ и $ДЕ$ обозначим буквой $Ж$. Отрезок $\overline{ДЖ}$ пропорционален активному сопротивлению катушки

$$\overline{ДЖ} = R_1 / m_Z.$$

Определяем полную мощность правой ветви при коротком замыкании

$$S_{1к} = U I_{1к} = 80 \cdot 2,08 = 166 \text{ ВА.}$$

Выбираем масштаб мощностей $m_S = 25 \text{ ВА/см}$ и откладываем отрезок

$$\overline{БЗ} = S_{1к} / m_S.$$

На отрезке $\overline{БЗ}$, как на хорде, строим полуокружность мощностей. Круговая диаграмма построена.

3. Для случая $R_2 = 35 \text{ Ом}$ определяем I' , I'_1 , P' , P'_2 , Q' , φ' , $\cos \varphi'$.

Здесь штрих обозначает величины, соответствующие первому значению $R_2 = 35 \text{ Ом}$.

Отложив от точки $Ж$ активное сопротивление R_2 , получим точку $И$, через которую проводим главную линию 1. Ометив точки $К$ и $Л$, строим вектор $\overline{ОЛ}$. Опустим перпендикуляр $КМ$ на горизонтальную ось и отметим точку $Н$.

Определяем силу тока в неразветвленной части:

$$I' = m_I \overline{ОЛ} = 0,2 \cdot 7,3 = 1,46 \text{ А.}$$

Определяем силу тока в правой ветви:

$$I'_1 = m_I \overline{БЛ} = 1,44 \text{ А.}$$

Транспортиром измеряем угол сдвига фаз ($\varphi' = 26^\circ$). Тригонометрические функции этого угла

$$\sin \varphi' = 0,438 \text{ и } \cos \varphi' = 0,9.$$

Мощности всей цепи:

$$S' = UI' = 80 \cdot 1,46 = 117 \text{ ВА, } P' = S' \cos \varphi' = \\ = 117 \cdot 0,9 = 105 \text{ Вт, } Q' = S' \sin \varphi' = 117 \cdot 0,438 = 93,5 \text{ вар.}$$

Определяем активную мощность и напряжение на выходе, а также к. п. д. всей цепи

$$P'_2 = m_S \overline{КН} = 25 \cdot 2,9 = 72,5 \text{ Вт,}$$

$$U'_2 = I'_1 R_2 = 1,44 \cdot 35 = 50,4 \text{ В,}$$

$$\eta = P'_2 / P' = 72,5 / 105 = 0,69.$$

Таким же образом рассчитываем величины для другого значения R_2 .

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие измерения необходимо произвести, чтобы построить круговую диаграмму разветвленной цепи?
3. Какие вычисления необходимо произвести, чтобы построить круговую диаграмму разветвленной цепи?
4. Каков порядок построения круговой диаграммы токов?
5. Каков порядок построения круговой диаграммы мощностей?
6. Какие величины в круговой диаграмме остаются неизменными при изменении R_2 ?

7. Как по круговой диаграмме определить $\cos \varphi$?
8. Указать на круговой диаграмме треугольник сопротивлений катушки.
9. Указать на круговой диаграмме треугольник мощностей активной ветви.
10. Может ли оказаться, что $\varphi' = 0$?

Приборы и оборудование

Таблица 2.66

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Батарея конденсаторов		1	
Катушка индуктивности		1	
Реостат		2	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от источника регулируемого переменного напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.67) и показать ее преподавателю для проверки.
2. Включить цепь, установить необходимое напряжение. Изменяя R_2 , произвести опыт холостого хода и короткого замыкания. Показания приборов записать в табл. 2.67.

Таблица 2.67

Из опыта					Из расчета					
U , В	I_0 , А	P_0 , Вт	I_K , А	P_K , Вт	S_0 , ВА	$\cos \varphi_0$	φ_0 , рад	S_K , ВА	$\cos \varphi_K$	φ_K , рад

3. Изменяя сопротивление реостата, для пяти значений записать показания приборов в табл. 2.68.

Из опыта			Из круговой диаграммы									
$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$I_1, А$	$R_2, Ом$	$P_2, Вт$	$U_2, В$	$\varphi, рад$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$S, ВА$	$Q, вар$	η

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов пункта 2 рассчитать S_0 , $\cos \varphi_0$, φ_0 , S_K , $\cos \varphi_K$, φ_K и записать в табл. 2.67.

2. Построить круговую диаграмму.

3. По результатам опытов пункта 3, отложив на круговой диаграмме силу тока I , определить величины, характеризующие потребитель (выходные величины): I_1 , R_2 , P_2 , U_2 ; а также величины, характеризующие всю цепь (входные величины)

$$\varphi, \cos \varphi, \sin \varphi, S, Q, \eta.$$

Результаты записать в табл. 2.68.

4. По результатам предыдущего пункта построить графики для потребителя:

$$I_1, U_2, P_2 = f(R_2)$$

и для всей цепи:

$$\varphi, \cos \varphi, S, P, Q, \eta = f(P_2).$$

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности получения резонанса токов; б) возможности получения активно-емкостного характера цепи; в) целесообразности расчета разветвленной цепи по методу круговой диаграммы.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 26

Трехфазная цепь при соединении потребителя звездой

Цель лабораторной работы — установить соотношение между линейными и фазными токами и на-

пряжениями при различной нагрузке фаз. Выявить роль нейтрального провода, построить топографическую диаграмму.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 7.1, 7.2, 7.3 или [2], § 14-1, 14-2, 14-4.

1. Фазы трехфазного потребителя могут соединяться в звезду или в треугольник. В лабораторной работе исследуется активная нагрузка, соединенная в звезду. Плавная и ступенчатая регулировка сопротивления осуществляется последовательно соединенными реостатами и группой ламп.

Потребитель считается симметричным, если комплексы сопротивлений его фаз равны

$$Z_A = Z_B = Z_C.$$

Если обмотки трехфазного генератора соединены звездой, то линия может быть трехпроводной (без нейтрального провода) и четырехпроводной (с нейтральным проводом).

Напряжение между нейтральными точками генератора и потребителя можно определить по методу двух узлов:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_A + \dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}.$$

Здесь

$$Y_A = 1/Z_A, Y_B = 1/Z_B, Y_C = 1/Z_C, Y_N = 1/Z_N -$$

комплексные значения проводимости ветвей, если не учитывать сопротивления фаз генератора и соединительных проводов.

Сила тока в ветвях:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) Y_A; \quad \dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) Y_B;$$

$$\dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) Y_C; \quad \dot{I}_N = -\dot{U}_N Y_N.$$

Ток в нейтральном проводе отрицателен, т. е. направлен в обратную сторону.

Он равен геометрической сумме линейных токов

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

При соединении в звезду фазный ток равен линейному: $I_\phi = I_\lambda$.

2. Для симметричного потребления $Y_A = Y_B = Y_C$, поэтому $\dot{U}_N = 0$, а фазные токи составляют симметричную систему, т. е. их действующие значения равны между собой, а углы сдвига между векторами равны 120° . Сумма таких векторов:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N = 0,$$

т. е. ток в нейтральном проводе отсутствует.

Напряжения на фазах потребителя симметричны:

$$\dot{U}'_A = \dot{I}_A Z_A, \quad \dot{U}'_B = \dot{I}_B Z_B, \quad \dot{U}'_C = \dot{I}_C Z_C,$$

а их действующие значения меньше линейного напряжения в $\sqrt{3}$ раз:

$$U'_A = U'_B = U'_C = U'_\phi = U_\lambda / \sqrt{3}.$$

Таким образом, при симметричной нагрузке (асинхронные и синхронные электродвигатели, трехфазные печи и т. п.) нейтральный провод бесполезен, поэтому его и не применяют.

3. При несимметричной нагрузке (осветительная, бытовая и т. п.), когда

$$Z_A \neq Z_B \neq Z_C,$$

напряжение на нейтральном проводе, сопротивлением которого можно пренебречь, также равно нулю ($U_N = I_N Z_N = 0$).

Напряжения на фазах потребителя симметричны

$$\dot{U}'_A = \dot{E}_A - \dot{U}_N; \quad \dot{U}'_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N; \quad \dot{U}'_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N.$$

Токи в фазах потребителя несимметричны ввиду несимметричности сопротивлений

$$\dot{I}_A = \dot{U}'_A / Z_A; \quad \dot{I}_B = \dot{U}'_B / Z_B; \quad \dot{I}_C = \dot{U}'_C / Z_C.$$

Ток в нейтральном проводе существует, его величина зависит от степени несимметрии фазных токов, но обычно он значительно меньше линейных токов.

4. Если при несимметричной нагрузке нулевой провод будет отсутствовать ($Z_N = \infty$, $Y_N = 0$), то появится

напряжение на нейтрали. Фазные напряжения не будут составлять симметричную систему, а поэтому фазные токи окажутся еще более несимметричными.

В случае обрыва одного из линейных проводов (например, C) возникает напряжение на месте разрыва в 1,5 раза больше, чем U_{ϕ} .

На фазах A и B появляются напряжения, которые в сумме равны линейному. Если нагрузка резко несимметричная, то одно из напряжений окажется больше фазного. Нормальная работа потребителей в этом случае невозможна.

Кроме того, фазные напряжения не будут оставаться постоянными, они будут изменяться с изменением сопротивлений фаз потребителя. Таким образом, нейтральный провод выравнивает фазные напряжения при несимметричном потребителе и делает возможным его работу.

5. Мощность каждой фазы может быть найдена по формулам:

$$S_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi}, \quad P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}, \quad Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}.$$

Для несимметричной нагрузки мощность всего трехфазного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad \text{где } P = P_A + P_B + P_C, \text{ а } Q = Q_A + Q_B + Q_C.$$

Для симметричного потребителя:

$$S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}, \quad P = 3P_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\phi},$$

$$Q = 3Q_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\phi}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое симметричная нагрузка?
3. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями для симметричной системы при соединении звездой?
4. Каково соотношение между токами в линейных и нейтральном проводах?
5. Какую роль выполняет нейтральный провод при несимметричной нагрузке?
6. По какой формуле можно рассчитать напряжение на нейтрали?
7. В каком случае напряжение на нейтрали равно нулю?
8. По каким формулам можно рассчитать активную, реактивную и полную мощности одной фазы потребителя?
9. По каким формулам можно рассчитать активную мощность при симметричной и несимметричной нагрузке?
10. Чему равен $\cos \varphi$ для схемы рис. 2.69?

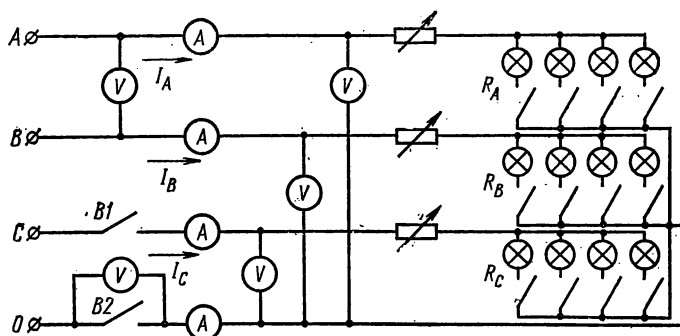


Рис. 2.69

Приборы и оборудование

Таблица 2.69

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		4	
Вольтметр		5	
Реостат		3	
Ламповый реостат		1	
Тумблерный выключатель		2	

Питание от зажимов трехфазной сети.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.69) и показать ее преподавателю для проверки.

2. При замкнутых тумблерных выключателях включить цепь. Установить симметричную нагрузку и измерить силу токов и напряжения в цепи. Показания приборов записать в табл. 2.70.

3. Разомкнуть нейтральный провод, убедиться, что это не вносит никаких изменений в работу цепи.

4. Выяснить, как при симметричной нагрузке влияет нейтральный провод на силу токов и напряжения при обрыве линейного провода С.

5. При одинаковых сопротивлениях двух фаз А и В исследовать влияние изменения сопротивления фазы С при замкнутом и разомкнутом нейтральном проводе на режим работы цепи.

Таблица 2.70

№ п.п.	Нагрузка	Нейтраль	Провод С	Из опыта							Из расчета					
				$I_{A'}$ А	$I_{B'}$ В	$I_{C'}$ А	$I_{N'}$ А	$U_{A'}$ В	$U_{B'}$ В	$U_{C'}$ В	$U_{N'}$ В	$\frac{U_{CA}}{U_C}$	$P_{A'}$ Вт	$P_{B'}$ Вт	$P_{C'}$ Вт	$P_{N'}$ Вт
1	Симмет- рич- ная	Зам.	Замк- нут													
2		Раз.														
3		Зам.	Ра- зомк- нут													
4		Раз.														
5	Не- сим- мет- рич- ная	Замк- нута	Замк- нут													
6																
7																
8		Ра- зомк- нута														
9																
10																

Результаты измерений записать в табл. 2.70.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов рассчитать отношение линейного напряжения U_{CA} к фазному U_C .

2. Рассчитать активную мощность каждой фазы и всего потребителя.

3. Для 1, 4, 6 и 9-го пунктов табл. 2.70 построить топографические диаграммы напряжений и токов.

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) соотношения между линейным и фазным напряжениями потребителя при симметрической и несимметричной нагрузке; б) соотношения между фазными и линейными токами потребителя; в) целесообразности нейтрального провода при симметричной нагрузке; г) роли нейтрального провода при несимметричной нагрузке; д) роли нейтрального провода при обрыве линейного

провода; е) распределения напряжения на отдельных фазах при несимметричной нагрузке фаз, если отсутствует нулевой провод; ж) определения мощности трехфазного потребителя; з) причин неполного совпадения опытных результатов с теорией.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 27

Трехфазная цепь при соединении потребителя треугольником

Цель лабораторной работы — установить соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз. Выявить на опыте влияние обрыва линейного провода на работу трехфазного потребителя, построить топографическую диаграмму.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 7.1, 7.2 или [2], § 14-5.

1. Фазы трехфазного потребителя могут соединяться в звезду или в треугольник.

В лабораторной работе исследуется активная нагрузка, соединенная в треугольник (рис. 2.70). Плавная и ступенчатая регулировка каждой фазы осуществляется последовательно соединенными реостатом и группой ламп.

Из анализа схемы следует, что фазные напряжения равны линейным

$$U_{\phi} = U_{\text{л.}}$$

В фазах потребителя возникают фазные токи: I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} , а в линейных проводах — линейные токи: I_A , I_B , I_C . На схеме (рис. 2.70) показаны положительные направления токов.

Используя первый закон Кирхгофа для комплексов токов, можно записать выражения линейных токов:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Фазные токи определяются по закону Ома

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / Z_{AB}; \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / Z_{BC}; \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} / Z_{CA}.$$

2. При симметричной нагрузке фазные токи равны по величине и сдвинуты между собой по фазе на угол 120° . При этом линейные токи больше фазных:

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi.$$

Угол сдвига между фазным напряжением и фазным током зависит от характера нагрузки. При симметричном потребителе линейный ток отстает от соответствующего фазного тока всегда на угол 30° .

3. Полная мощность каждой фазы

$$S_\phi = \dot{U}_\phi \dot{I}_\phi^* = P_\phi + jQ_\phi.$$

Активная мощность фаз может быть найдена другим способом:

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi,$$

а реактивная

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi.$$

Угол φ_ϕ определяется по тригонометрическим функциям каждой фазы:

$$\sin \varphi_\phi = x/z \text{ или } \cos \varphi_\phi = R/z.$$

Активная мощность трехфазного несимметричного потребителя равна арифметической сумме мощностей отдельных фаз:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA},$$

а реактивная — алгебраической сумме:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}.$$

Полная мощность всего потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

При симметричной нагрузке мощности всех фаз одинаковы по величине и по характеру, поэтому:

$$P = 3P_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_\phi;$$

$$Q = 3Q_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi_\phi;$$

$$S = 3S_\phi = \sqrt{3} U_L I_L.$$

4. Изменение сопротивления одной из фаз вызывает изменение силы тока этой фазы и токов в линейных проводах, но не приводит к изменению режима работы двух других фаз.

Соединение в треугольник исключает возможность появления повышенных напряжений на фазах потребителя при обрыве одного из проводов, как это бывает при соединении в звезду. Например, при обрыве провода *С* фазы *BC* и *CA* окажутся соединенными последовательно и включенными под линейное напряжение U_{AB} , поэтому при симметричном потребителе на каждой из фаз появится половинное линейное напряжение. Напряжение на зажимах фазы *AB* не изменится и она будет продолжать работать в прежнем режиме.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Изобразить схему соединения потребителей в треугольник, указать положительное направление токов.
3. Каково соотношение между фазными и линейными токами при соединении в треугольник?
4. Как связаны действующие значения линейных и фазных токов при симметричной нагрузке?
5. От каких факторов зависит угол сдвига между фазным напряжением и фазным током?
6. Чему равен угол сдвига между фазными и линейными токами при симметричной нагрузке?
7. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов для симметричной нагрузки, соединенной в треугольник.
8. Как рассчитать мощность потребителя при несимметричной нагрузке?
9. Как рассчитать мощность потребителя при симметричной нагрузке?
10. Как влияет обрыв линейного провода на работу трехфазного потребителя, соединенного в треугольник?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.71

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		6	
Вольтметр		3	
Реостат		3	
Ламповый реостат		1	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от зажимов трехфазной сети.

Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.70) и показать ее преподавателю для проверки.

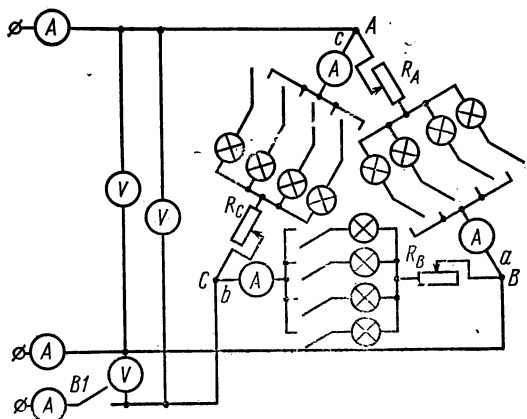


Рис. 2.70

Таблица 2.72

№ п.	Нагрузка	Линей- ный провод	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$I_{AB}, А$	$I_{BC}, А$	$I_{CA}, А$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$\frac{I_B}{I_{BC}}$	$P_{AB}, Вт$	$P_{BC}, Вт$	$P_{CA}, Вт$	$P, Вт$	
1	Симмет- ричная	Замкнут															
2																	
3																	
4	Несим- метрич- ная																
5																	
6	Симмет- ричная	Разомк- нут															
7																	
8	Несим- метрич- ная																
9																	
10																	

2. При замкнутом тумблерном выключателе включить цепь. Установить симметричную нагрузку и записать показания приборов в табл. 2.72.

3. При одинаковых сопротивлениях двух фаз исследовать влияние сопротивления фазы BC на режим работы цепи. Результаты записать в табл. 2.72.

4. Повторить измерения пункта 3 для разомкнутого линейного провода C .

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов рассчитать отношение линейного тока I_B к фазному току I_{BC} .

2. Рассчитать мощность каждой фазы и всего потребителя.

3. Для 1, 4 и 7-го пунктов табл. 2.72 построить векторные диаграммы напряжений и токов потребителя.

4. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) соотношения между линейными и фазными токами потребителя при симметричной и несимметричной нагрузке; б) соотношения между фазными и линейными напряжениями; в) изменения фазных напряжений и токов при изменении сопротивления одной из фаз; г) влияния обрыва одного линейного провода на режим работы электрической цепи; д) определения мощности трехфазного потребителя.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 28

Высшие гармоники в трехфазной цепи

Цель лабораторной работы — изучить влияние гармоник кратных трем на величину и форму фазных и линейных токов и напряжений, а также на ток в нейтральном проводе и на величину напряжения на нейтрали при холостом ходе и при симметричной нагрузке.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 8.6 или [2], § 15-8.

1. В лабораторной работе исследуются несинусоидальные токи и напряжения в группе однофазных транс-

форматоров, магнитные системы которых имеют значительное насыщение. Э. д. с. в обмотках симметричны, что исключает наложение токов несимметрии на токи высших гармоник.

При соединении обмоток генератора или трансформатора звездой (рис. 2.71) и при несинусоидальных э. д. с. в фазах линейные напряжения, равные разностям фазных ($u_{AB} = u_A - u_B$), также несинусоидальны. Линейные напряжения не содержат гармоник кратных трем; так как при вычитании гармоники нулевой последовательности обращаются в нуль; поэтому отношение

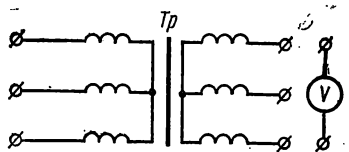


Рис. 2.71

$$U_{\text{л}}/U_{\text{ф}} < \sqrt{3}.$$

2. Если к несинусоидальной системе э. д. с. подключить симметричную нагрузку, соединенную в звезду без нейтрального провода (рис. 2.72), то ни линейные, ни фазные напряжения потребителя не будут содержать гармоник, кратных трем, поэтому и линейные, и фазные токи потребителя также не содержат этих гармоник.

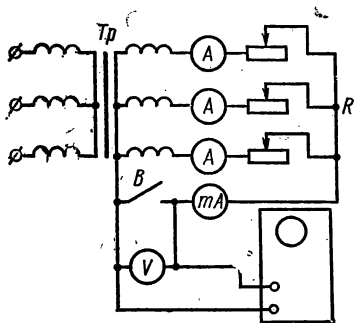


Рис. 2.72

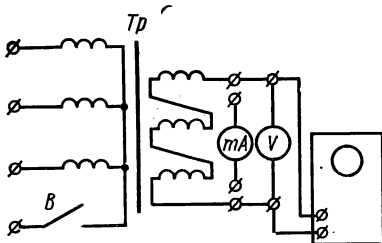


Рис. 2.73

Напряжение на нейтрали будет отличаться от нуля, оно будет равно сумме гармоник, кратных трем:

$$U_N = \sqrt{U_3^2 + U_9^2 + U_{15}^2 + \dots} \approx U_3 = E_3.$$

4. Если к несинусоидальной системе э. д. с. подключить симметричную нагрузку с нейтральным проводом, то в нем возникнет ток, содержащий гармоники, кратные трем

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} = 3I_3.$$

Других гармоник этот ток содержать не может, так как симметричные токи прямой последовательности, так же как и симметричные токи обратной последовательности, в сумме равны нулю.

Линейные токи будут содержать все нечетные гармоники, которые создадут в потребителе падения напряжения этих же гармоник.

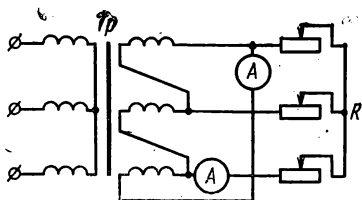


Рис. 2.74

5. При соединении обмоток генератора или вторичных обмоток трансформатора треугольником сумма всех фазных э. д. с. прямой и обратной последовательности равна нулю. Сумма гармоник э. д. с., кратных трем, не равна нулю, и вольтметр, включенный в открытый треугольник (рис. 2.73), покажет напряжение

$$U = 3\sqrt{U_3^2 + U_9^2 + U_{15}^2 + \dots} \approx 3E_3.$$

Сопротивления фаз трансформатора обычно не велики, поэтому даже при холостом ходе в его обмотках возникает уравнительный ток, состоящий из этих гармоник

$$I_y = \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} \approx I_3.$$

6. Если соединить первичную обмотку трансформатора в звезду с нейтральным проводом, то в этом проводе и в обмотках возникнут несинусоидальные токи, содержащие все нечетные гармоники. Тогда магнитные потоки и э. д. с. вторичных обмоток будут синусоидальными, а вольтметр покажет нуль (рис. 2.73).

7. Уравнительный ток во вторичной обмотке трансформатора, соединенной в треугольник (рис. 2.74) создает падения напряжения, которые уравнивают э. д. с. гармоник, кратных трем. Поэтому линейные (фаз-

ные) напряжения трансформатора, а также линейные и фазные токи потребителя не будут содержать этих гармоник. Фазные токи вторичной обмотки трансформатора будут содержать все нечетные гармоники, поэтому

$$I_n/I_\phi < \sqrt{3}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Чему равна сумма симметричных векторов: а) прямой последовательности? б) обратной последовательности? в) нулевой последовательности?
3. Какие гармоники содержатся в фазных и линейных напряжениях генератора, при соединении его обмоток в звезду и треугольник?
4. Чему равно напряжение на нейтрали при симметричной нагрузке без нулевого провода, если э. д. с. фаз генератора: а) синусоидальны? б) несинусоидальны?
5. Чему равна сила тока в нейтральном проводе при симметричной нагрузке, если э. д. с. фаз генератора: а) синусоидальны? б) несинусоидальны?
6. Какие гармоники содержатся в линейных и фазных токах симметричного потребителя, соединенного в звезду: а) с нейтральным проводом, б) без нейтрального провода, если потребитель подключен к источнику с несинусоидальной э. д. с.?
7. Чему равна сумма фазных э. д. с. генератора, соединенного в треугольник? Будет ли возникать ток в обмотках генератора, работающего вхолостую?
8. Какие гармоники содержатся в линейных и фазных токах симметричного потребителя, соединенного в треугольник?
9. Почему при соединении первичных обмоток трансформаторов в звезду с нейтральным проводом э. д. с. во вторичных обмотках не содержат гармоник, кратных трем?
10. Почему при изучении несинусоидальных токов первичные и вторичные э. д. с. трансформаторов и сопротивления потребителя должны обязательно составлять симметричную систему?

Приборы и оборудование

Т а б л и ц а 2.73

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Миллиамперметр		1	
Амперметр		3	
Вольтметр		2	
Осциллограф электронный		1	
Трансформатор однофазный		3	
Реостат		3	
Тумблерный выключатель		1	

Питание от зажимов трехфазной сети.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.71) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Включить цепь. Измерить фазные напряжения на вторичных обмотках и убедиться, что они составляют симметричную систему. Убедиться, что линейные напряжения вторичной обмотки тоже составляют симметричную систему. Результаты записать в табл. 2.74.

Таблица 2.74

$U_{л, в.}$	$U_{ф, в.}$	$\frac{U_{л.}}{U_{ф.}}$	Разомкнут		Замкнут			Разомкнут		Замкнут	I_y		$I_{л, в.}$	$I_{ф, в.}$	$\frac{I_{л.}}{I_{ф.}}$
			$I_{1, A}$	$U_{N, в.}$	$I_{1, A}$	$I_{N, A}$	$I_{3, A}$	$U_{A, в.}$	$E_3, в. \frac{E_3}{E_1}$		разомкнут, A	замкнут, A			
п. 2			п. 5		п. 6			п. 7		п. 8		п. 9			п. 11

3. Собрать цепь (см. рис. 2.72) и показать ее преподавателю для проверки.

4. На вход осциллографа подать контрольный сигнал с частотой 50 Гц и скопировать изображение синусоиды основной частоты на кальку.

5. При разомкнутом рубильнике, изменяя положение движков реостатов, установить симметричную нагрузку. **Внимание!** В последующих опытах положение движков не изменять. Измерить силу линейных токов, содержащих только первую гармонику. I_1 и напряжение на нейтрали $U_N = E_3$. Результаты записать в табл. 2.74. На вход осциллографа подать напряжение на нейтрали и скопировать изображение третьей гармоники на кальку.

6. Замкнуть нейтральный провод и измерить силу тока в нем I_N и I — в линейном проводе, содержащем первую и третью гармоники. Результаты записать в таблицу.

7. Собрать цепь (см. рис. 2.73). При разомкнутом нейтральном проводе первичной обмотки измерить напряжение в открытом треугольнике вторичных обмоток (U_{Δ}). Скопировать на кальку изображение третьей гармоники напряжения.

8. Замкнуть нейтральный провод в первичной обмотке. Убедиться, что сумма э. д. с. во вторичных обмотках равна нулю.

9. Вместо вольтметра включить амперметр. Измерить уравнивающий ток при замкнутом и разомкнутом нейтральном проводе первичной обмотки. Результаты записать в табл. 2.74.

10. Собрать цепь (см. рис. 2.74) и показать ее преподавателю для проверки.

11. Включить цепь. При симметричной нагрузке измерить линейный и фазный токи в обмотках трансформатора.

Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов пункта 2 убедиться, что

$$U_{л}/U_{\phi} < \sqrt{3}.$$

2. Пренебрегая гармониками выше третьей, рассчитать по результатам опытов пунктов 5 и 6 третью гармонику линейного тока по формуле

$$I_3^* = I_N/3.$$

Результаты записать в табл. 2.74.

3. По результатам опытов пункта 7 рассчитать третью гармонику э. д. с. вторичной обмотки

$$E_3 = U_N/3.$$

4. По результатам опытов пункта 11 убедиться, что

$$I_{л}/I_{\phi} < \sqrt{3}.$$

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно существования третьих гармоник: а) в линейных и фазных напряжениях вторичных обмоток, соединенных в треугольник; б) в токе нейтрального провода; в) в напряжении на нейтрали при разомкнутом нейтральном проводе; г) в э. д. с. во вторичных обмотках при замкнутом и разомкнутом нейтральном проводе первичных обмоток; д) в линейных и фазных токах вторичных обмоток, соединенных в треугольник.

Выводы записать в отчет.

Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитном сердечнике катушки

Цель лабораторной работы — измерить мощность потерь в стальном сердечнике и выяснить их зависимость от магнитной индукции.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 4.20, 9.4 или [2], § 16-5.

1. В ферромагнитных телах, по которым замыкается переменный магнитный поток, возникают магнитные потери. Они складываются из двух частей: из потерь на гистерезис и потерь от вихревых токов.

Потери на гистерезис могут быть рассчитаны по формуле

$$P_r = \sigma_r f B_m^n m,$$

где σ_r — коэффициент гистерезиса, зависящий от материала сердечника; f — частота; B_m — максимальная индукция; n — показатель степени, зависящий от индукции; m — масса сердечника.

Потери от вихревых токов

$$P_v = \sigma_v f^2 B_m^2 m,$$

где σ_v — коэффициент, зависящий от сорта стали и толщины листов сердечника.

Часто измеряют и рассчитывают магнитные потери, не разделяя их по частям. Если магнитное поле изменяется с частотой 50 Гц, то потери можно рассчитать по формуле

$$P_m = p_{10/50} B_m^2 m,$$

где $p_{10/50}$ — удельные потери при индукции $B_m = 1$ Т, их величина приводится в справочниках (см. [2], стр. 532, табл. 16-1).

Если известно число витков катушки w , надетой на сердечник с сечением S м², то можно рассчитать максимальное значение индукции B_m для различных напряжений U по формуле

$$B_m = U / 4,44 f w S.$$

2. В лабораторной работе мощность магнитных потерь измеряется по методу ваттметра (рис. 2.75). Ваттметр, включенный по данной схеме, измеряет мощность

$$P_{\text{вт}} = P_{\text{м}} + P_{\text{э}} + P_{\text{в}} + P_{\text{пр}},$$

где $P_{\text{м}}$ — магнитные потери; $P_{\text{э}} = I^2 R_{\text{к}}$ — электрические потери в катушке; $P_{\text{в}} = U^2 / R_{\text{в}}$ — потери в вольтметре; $P_{\text{пр}} = U^2 / R_{\text{пр}}$ — потери в параллельной обмотке ваттметра.

Сопротивление катушки $R_{\text{к}}$ следует определять по методу амперметра и вольтметра; сопротивления вольтметра $R_{\text{в}}$ и параллельной обмотки ваттметра $R_{\text{пр}}$ указаны на шкалах приборов лабораторного типа, применяемых в опыте. Иногда вместо сопротивления вольтметра на шкале указан номинальный ток вольтметра $I_{\text{н}}$, тогда сопротивление $R_{\text{в}}$ можно рассчитать по формуле

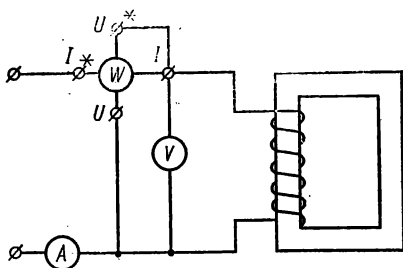


Рис. 2.75

$$R_{\text{в}} = U_{\text{н}} / I_{\text{н}},$$

где $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение (предел измерения) вольтметра. Аналогичным образом определяется сопротивление параллельной обмотки ваттметра.

Сопротивлением приборов можно пренебречь, тогда расчет упрощается, но результаты получатся менее точными.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. За счет какой энергии нагревается ферромагнитный сердечник?
3. В каких устройствах возникают магнитные потери?
4. Что такое потери на гистерезисе?
5. От каких факторов зависят потери на гистерезис?
6. Как по виду петли магнитного гистерезиса охарактеризовать потери от перемагничивания?
7. Что такое потери от вихревых токов?
8. Какие факторы влияют на потери от вихревых токов?
9. Какими способами уменьшают потери от вихревых токов?
10. По какой формуле можно рассчитать магнитную индукцию, созданную переменным током катушки?

Т а б л и ц а 2.75

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Катушка с сердечником		1	

Питание от источников регулируемого постоянного и переменного напряжения.

Программа работы

1. Изобразить схему для измерения сопротивления катушки на постоянном токе и ознакомить с ней преподавателя.

2. Собрать цепь для измерения сопротивления катушки, включить ее и измерить силу тока и напряжение. Результаты записать в самостоятельно подготовленную таблицу.

3. Измерить габариты и поперечное сечение сердечника. Рассчитать необходимое напряжение на катушке для получения индукции в сердечнике $B_m = 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4$ Т и записать в табл. 2.76.

Т а б л и ц а 2.76

Из опыта			Из расчета						
U , В	I , А	$P_{вт'}$ Вт	$R_{к'}$ Ом	$R_{в'}$ Ом	$R_{пр'}$ Ом	$P_{з'}$ Вт	$P_{в'}$ Вт	$P_{пр'}$ Вт	$P_{м'}$ Вт

4. Собрать цепь (рис. 2.75) и показать ее преподавателю для проверки.

5. Включить цепь, установить необходимые напряжения. Измерить мощность и силу тока, результаты записать в табл. 2.76.

Обработка результатов опыта

1. По результатам опытов пункта 2 программы работы рассчитать сопротивление катушки. Рассчитать сопротивления приборов.

2. Рассчитать мощность потерь в катушке, приборах и в сердечнике. Результаты записать в табл. 2.76.

3. Рассчитать объем и массу сердечника, считая, что плотность стали $D=7,8 \text{ г/см}^3$.

4. Учитывая удельные потери данного сорта стали, рассчитать магнитные потери в сердечнике для рассчитанных значений индукции B_m . Результаты записать в табл. 2.77.

Таблица 2.77

$U, \text{ В}$	$B_m, \text{ Т}$	$V, \text{ см}^3$	$D, \text{ г/см}^3$	$m, \text{ кг}$	$P_{10/50}, \text{ Вт/кг}$	$f, \text{ Гц}$	$P_m', \text{ Вт}$

5. По результатам опытов и расчетов построить графики $P_m=f(B_m)$ для двух способов определения магнитных потерь.

6. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности измерения магнитных потерь методом ваттметра; б) совпадения опытных и расчетных результатов; в) зависимости магнитных потерь от индукции.

Выводы записать в отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 30

Изучение переходных процессов зарядки и разрядки конденсатора

Цель лабораторной работы — исследовать процессы, происходящие в неразветвленной цепи, содержащей сопротивление и емкость, при включении на постоянное напряжение, а также при разрядке конденсатора на резистор. Построить графики изменения тока и напряжения в функции времени, определить постоянную времени.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 10.1, 10.5, 10.6 или [2], § 17-1, 17-5, 17-6.

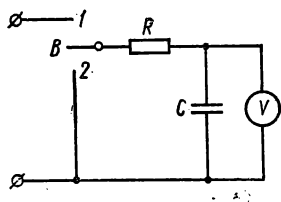


Рис. 2.76

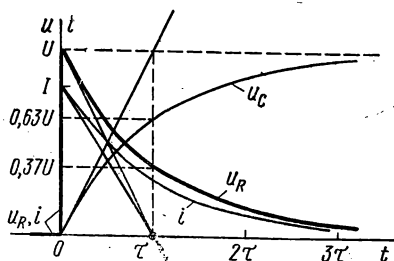


Рис. 2.77

1. При включении конденсатора на постоянное напряжение (рис. 2.76) в цепи возникает электрический ток, пластины конденсатора начинают заряжаться. В первый момент ток от нулевого значения скачком возрастает, затем начинает уменьшаться по экспоненциальному закону (рис. 2.77)

$$i = I e^{-t/\tau}.$$

Здесь i — сила тока в момент времени t , отсчитанный от начала переходного процесса, т. е. от момента коммутации; I — сила тока в момент коммутации определяется по формуле

$$I = U/R;$$

$\tau = R \cdot C$ — постоянная времени, измеряемая в секундах. Она характеризует скорость переходного процесса.

Напряжение на резисторе равно

$$u_R = U e^{-t/\tau},$$

т. е. оно изменяется аналогично изменению тока: скачком возрастает, а затем постепенно падает.

Напряжение на конденсаторе изменяется по возрастающей экспоненте

$$u_C = U (1 - e^{-t/\tau}).$$

2. За время $t = \tau$ напряжение u_C при зарядке конденсатора возрастает до значения $0,63 U$. Отсюда следует простой способ нахождения τ графическим методом по известной кривой напряжения (рис. 2.77). Приняв зна-

чение U за единицу, находят величину $0,63 U$, а затем, отложив эту ординату, по графику определяют абсциссу τ . Если известна кривая тока, то откладываем ординату $0,37 I$ и аналогично определяем абсциссу τ .

Существует второй способ, он также показан на рис. 2.77. Постоянная времени равна отрезку на прямой напряжения сети U , отсекаемому касательной, которая проведена через точку $t=0$ к кривой напряжения u_C . Если провести касательные к кривым тока и напряжения u_R , то они пересекут горизонтальную ось в момент $t=\tau$.

3. При разрядке конденсатора на резистор, напряжения u_C и u_R и ток i уменьшаются, асимптотически приближаясь к нулю (рис. 2.78)

$$i = I e^{-t/\tau}, \quad u_C = u_R = U e^{-t/\tau}.$$

В момент коммутации кривые тока и напряжения u_R делают скачок от нулевого значения до максимального, а напряжение u_C остается в первый момент времени неизменным.

4. Из рассмотрения переходных процессов можно сделать вывод: в момент коммутации емкостное напряжение не может измениться скачком. Это положение называют вторым законом коммутации (первый закон относится к цепи с индуктивностью).

Вопросы для само- проверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое переходный процесс?
3. Изобразите графики тока и напряжений при зарядке конденсатора.
4. Запишите уравнения кривых тока и напряжения при зарядке конденсатора.
5. Что такое τ , каким способом можно ее определить?
6. Изобразите графики тока и напряжений при разрядке конденсатора.
7. Запишите уравнения кривых тока и напряжения при разрядке конденсатора.
8. Укажите направление энергии при зарядке и разрядке конденсатора.
9. Почему конденсатор не может зарядиться или разрядиться мгновенно?
10. Сформулируйте второй закон коммутации.

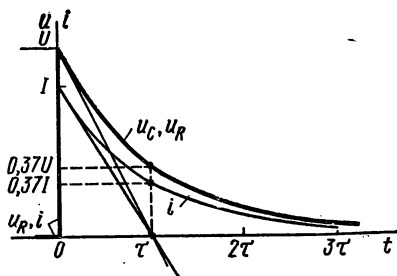


Рис. 2.78

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Вольтметр электростатический		1	
Часы наручные		1	
Батарея конденсаторов		1	
Резистор		2	
Тумблерный переключатель		1	

Питание от источника постоянного регулируемого напряжения.

Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 2.76) и показать ее преподавателю для проверки.

2. Замкнуть резистор проводником, установить заданную преподавателем емкость батареи конденсаторов. Подготовить конденсатор к зарядке, для чего поставить переключатель в положение 2, разрядив тем самым конденсатор. Поставить переключатель в положение 1, включить цепь, установить необходимое напряжение на конденсаторе. Вернуть переключатель в положение 2 и снять перемычку с резистора. На этом заканчивается подготовка конденсатора к зарядке.

3. Подключить конденсатор к сети (переключатель поставить в положение 1) и через различные промежутки времени записать показания вольтметра в табл. 2.79.

Таблица 2.79

Задано			Расчет τ , с	Зарядка				Разрядка			
R , Ом	C , мкФ	U , В		t , с	u_C , В	u_R , В	i , А	t , с	u_C , В	u_R , В	i , А

Опыт зарядки конденсатора продолжать до практического окончания переходного процесса.

4. Перевести переключатель в положение 2 и повторить измерение напряжения при разрядке конденсатора. Опыт продолжать до практического окончания переходного процесса. Результаты записать в табл. 2.79.

5. Повторить зарядку и разрядку конденсатора при другой какой-либо емкости.

6. Повторить зарядку и разрядку конденсатора при другом каком-либо сопротивлении.

Обработка результатов опытов

1. Рассчитать постоянную времени по известным параметрам цепи

$$\tau = R/C.$$

2. Определить напряжение на резисторе для различных моментов времени

$$u_R = U - u_C.$$

3. Определить силу тока в цепи для различных моментов времени

$$i = u_R/R.$$

4. По результатам опытов построить графики токов в одной системе координат, а графики напряжений — в другой.

5. Графическим методом определить постоянную времени.

6. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) зависимости постоянной времени и длительности переходного процесса от сопротивления и емкости цепи; б) причин неполного совпадения значения, полученного расчетным и графическим методом.

Выводы записать в отчет.

Глава III

КАРТОЧКИ ПРОГРАММИРОВАННОГО ОПРОСА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

Вопрос 1. Почему амперметр должен иметь малое внутреннее сопротивление?

Ответы: 1) возникнет большой ток и потребитель лучше будет работать; 2) стрелка амперметра будет больше отклоняться и точность измерения повысится; 3) присутствие амперметра в цепи будет меньше влиять на силу тока; 4) снизится бесполезный нагрев и получится экономия электроэнергии; 5) это требование необоснованно.

Вопрос 2. Почему вольтметр должен иметь большое внутреннее сопротивление?

Ответы: 1) снизится бесполезный нагрев и получится экономия электроэнергии; 2) меньше будет ток в вольтметре и больше в потребителе, который при этом будет лучше работать; 3) это требование необоснованно; 4) присутствие вольтметра в цепи будет меньше влиять на силу тока, потребляемого от источника; 5) можно будет измерять большие напряжения.

Вопрос 3. Ваттметр имеет пределы измерения: $U = 300$ В, $I = 10$ А и 150 делений шкалы. Стрелка отклонилась на 50 делений. Рассчитать мощность, измеряемую ваттметром.

Ответы: 1) $P = 1$ кВт; 2) $P = 20$ Вт; 3) $P = 3$ кВт; 4) $P = 10$ Вт; 5) $P = 50$ Вт.

Вопрос 4. В схеме (рис. 2.3) вольтметр показывает напряжение, равное напряжению сети. Укажите причину этого явления.

Ответы: 1) перегорел амперметр; 2) сопротивление реостата равно нулю, т. е. короткое замыкание; 3) обрыв одного из соединительных проводов, но неизвестно ка-

кого; 4) перегорела катушка; 5) разомкнуты все рубильники в ламповом реостате.

Вопрос 5. В схеме п. 5 программы работы один амперметр, включенный в ветвь с реостатом, показывает 0. Укажите возможную неисправность.

Ответы: 1) короткое замыкание в реостате; 2) обрыв провода в катушке; 3) обрыв провода, соединяющего амперметр в неразветвленной части с узлом; 4) отсутствует напряжение сети; 5) отсутствует контакт между движком и витками реостата.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

Вопрос 1. Источник электрической энергии, не имеющий внутреннего сопротивления, характеризуется некоторыми соотношениями. Укажите ошибочный ответ.

Ответы: 1) $E_{\text{и}} = U_{\text{и}}$; 2) $\eta_{\text{и}} = 0$; 3) $P_{\text{и}} = P_{\text{п}}$; 4) $\Delta P_{\text{и}} = 0$; 5) $E_{\text{и}} = IR_{\text{п}}$.

Вопрос 2. Может ли э. д. с. источника быть направленной против тока?

Ответы: 1) может, если в цепи имеется два источника с разными э. д. с., направленными навстречу друг другу; 2) не может, так как ток направлен от положительного зажима источника к отрицательному по внешней цепи, т. е. так же, как направлена э. д. с.; 3) не может ни при каких обстоятельствах; 4) не может, так как источник в этом случае будет преобразовывать электрическую энергию в другой какой-либо вид, а это возможно далеко не во всех источниках (например, в термопарах, фотоэлементах, сухих элементах); 5) может, если $R_0 = 0$, тогда $U_0 = 0$, а $I = E/R$.

Вопрос 3. Э. д. с. источника, питающего потребитель с сопротивлением 88 Ом, равна 45 В, а внутреннее сопротивление его равно 2 Ом. Определить мощность генератора.

Ответы: 1) 22,5 Вт; 2) 11,25 Вт; 3) 44 Вт; 4) 90 Вт; 5) 2 Вт.

Вопрос 4. Для предыдущей задачи определить к. п. д. при режиме холостого хода и короткого замыкания.

Ответы даны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ ответа	1	2	3	4	5
х. х., %	100	0	100	0	50
к. з., %	0	0	100	100	50

Вопрос 5. При токе силой в 10 А напряжение на зажимах источника равно 200 В. При токе силой в 5 А напряжение равно 210 В. Определить э. д. с. источника и его внутреннее сопротивление.

Ответы даны в табл. 3.2.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3

Вопрос 1. Дано: $E_1 = E_2 = E_3$; $R_{01} = R_{02} = R_{03} = 0$. Указать потенциальную диаграмму соответствующую рис. 3.1.

Ответы (см. рис. 3.2).

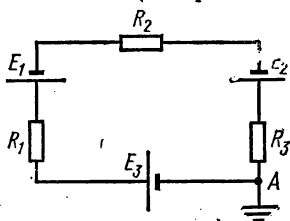


Рис. 3.1

Таблица 3.2

№ ответа	1	2	3	4	5
E , В	410	205	220	10	210
R_0 , Ом	40	20	2	42	21

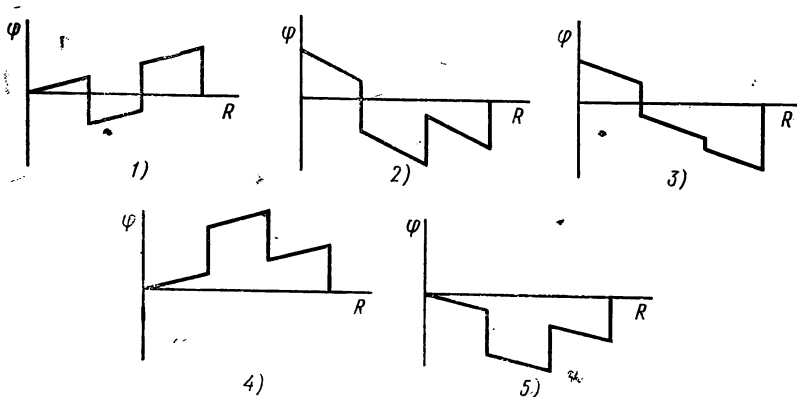


Рис. 3.2

Вопрос 2. Укажите схему, соответствующую потенциальной диаграмме рис. 3.3, если $E_1 < E_2$ и $R_{01} = R_{02} = 0$.

Ответы (см. рис. 3.4).

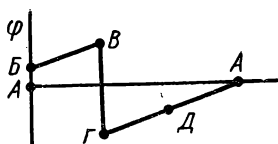


Рис. 3.3

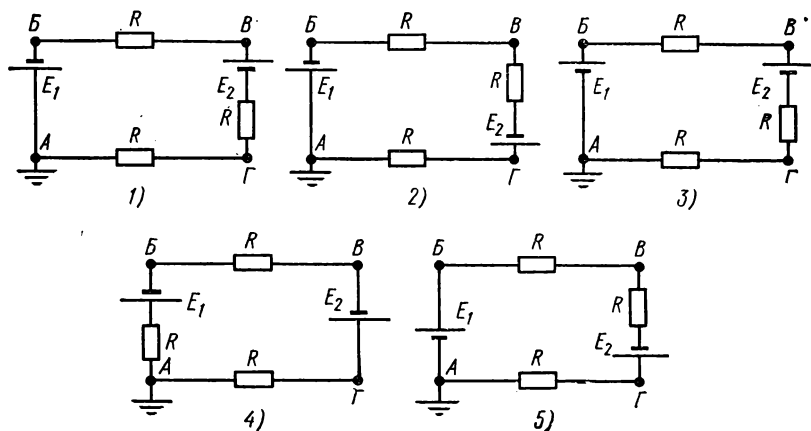


Рис. 3.4

Вопрос 3. Как изменится вид потенциальной диаграммы, если точку А в схеме рис. 3.1 соединить с землей через источник э. д. с. и резистор? (рис. 3.5).

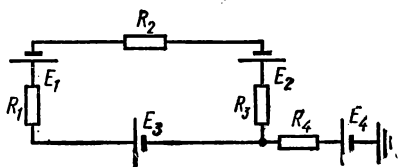


Рис. 3.5

Ответы: 1) под действием э. д. с. сила тока увеличится, возрастет падение напряжения на резисторах, а наклон параллельных линий увеличится; 2) под действием R_4 сила тока уменьшится, упадет напряжение на резисторах, а наклон параллельных отрезков уменьшится;

3) влияния э. д. с. E_4 и резистора R_4 скомпенсируются, сила тока и падения напряжений не изменятся, наклон параллельных участков останется прежним; 4) потенциалы всех точек увеличатся на величину E_4 , а потенциальная диаграмма поднимется на пропорциональную величину; 5) потенциалы всех точек изменятся на величину $E_4 - I_4 R_4$. Если $E_4 > I_4 R_4$, то потенциальная диаграмма поднимется, а если $E_4 < I_4 R_4$, опустится на пропорциональную величину.

Вопрос 4. Дано: $E_1 = 24$ В, $E_2 = 10$ В, $R_{01} = 1,5$ Ом, $R_{02} = 2,5$ Ом; $R = 10$ Ом. Определить потенциал точки Б (рис. 3.6).

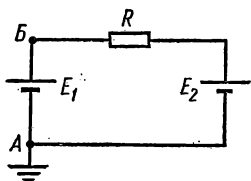


Рис. 3.6

Ответы: 1) $\varphi_B = 11,5$ В; 2) $\varphi_B = 24$ В; 3) $\varphi_B = 25,5$ В; 4) $\varphi_B = 8,5$ В; 5) $\varphi_B = 22,5$ В.

Вопрос 5. Дано: $E_1 = 24$ В, $E_2 = 10$ В, $E_3 = 6$ В, $R_{01} = 1,5$ Ом, $R_{02} = 2,5$ Ом; $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 26$ Ом. Определить потенциал точки Б (рис. 3.7).

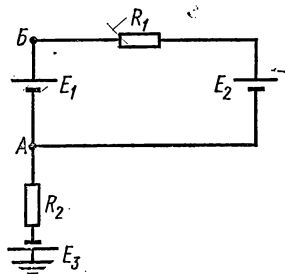


Рис. 3.7

Ответы: 1) $\varphi_B = 31$ В; 2) $\varphi_B = 23,25$ В; 3) $\varphi_B = 16,5$ В; 4) $\varphi_B = 22,5$ В; 5) $\varphi_B = 15$ В.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

Вопрос 1. Сколько уравнений можно составить по второму закону Кирхгофа для схемы рис. 3.8?

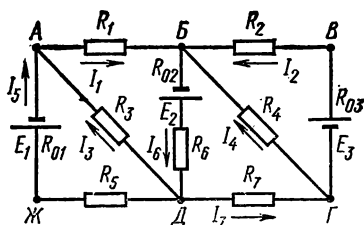


Рис. 3.8

Ответы: 1) 7. 2) 10. 3) 11. 4) 4. 5) 9.

Вопрос 2. Для схемы рис. 3.8 составлены уравнения по первому закону Кирхгофа: для точки А $I_5 + I_3 - I_1 = 0$; для точки В $-I_6 + I_4 + I_2 + I_1 = 0$; для точки Г $I_2 + I_4 = I_7$; для точки Д $I_3 + I_5 + I_7 = I_6$.

Какие уравнения содержат ошибки?

Ответы: 1) Для точек Д и В; 2) все уравнения составлены правильно; 3) для точек А и Б; 4) для точек Г и А; 5) для точек Д и Г.

Вопрос 3. Для схемы рис. 3.8 составлены уравнения по второму закону Кирхгофа, причем $R_{01} = R_{02} = R_{03} \neq 0$. Какое из этих уравнений содержит ошибку?

Ответы: 1) $-E_1 = I_1 R_1 - I_4 R_4 - I_7 R_7 + I_5 R_5 + I_5 R_{01}$ для контура АБГЖА; 2) $-E_1 + E_2 = I_1 R_1 + I_5 R_{01} + I_5 R_5 + I_6 R_6 + I_6 R_{02}$ для контура АБДЖА; 3) $E_3 = -I_4 R_4 + I_2 R_{03} + I_2 R_2$ для контура БГВБ; 4) $0 = I_7 R_7 + I_4 R_4 - I_1 R_1 - I_3 R_3$ для контура АДГБА; 5) $E_1 + E_3 = I_5 R_{01} - I_5 R_5 + I_7 R_7 + I_2 R_{03} + I_2 R_2 - I_1 R_1$ для контура АЖГВА.

Вопрос 4. В каком определении допущена смысловая ошибка?

1. Весь участок электрической цепи, вдоль которого ток имеет одно и то же значение в любой момент времени, называется ветвью электрической цепи.

2. Контур электрической цепи представляет собой любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

3. Точка соединения трех или большего числа ветвей называется узлом электрической цепи.

4. Токи в ветвях считаются отрицательными, если их направление не совпадает с направлением обхода контура.

5. Падение напряжения считается положительным в резисторе, в котором направление тока совпадает с направлением обхода контура.

Ответы: Ошибка допущена в следующих определениях: 1) 1 и 3; 2) 2 и 5; 3) 4 и 5; 4) 3 и 4; 5) ошибок нет.

Вопрос 5. Для какого контура схемы рис. 3.8 составлено следующее уравнение $-E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_2 R_{03} - I_7 R_7 + I_3 R_3$?

Ответы: 1) ДБВГД, 2) ДБАД, 3) АБВГДА, 4) АЖДА, 5) ГДБГ.

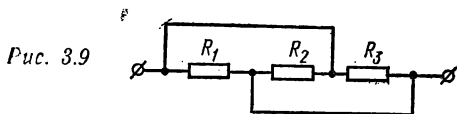
КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

Вопрос 1. Для цепи рис. 3.9 указать формулу эквивалентного сопротивления.

Ответы:

1) $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$; 2) $R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$;

3) $R_{\text{экв}} = R_1/3$; 4) $R_{\text{экв}} = 0$; 5) $R_{\text{экв}} = 3R_1$.



Вопрос 2. Две лампы мощностью $P_{1н} = 15$ Вт и $P_{2н} = 60$ Вт с номинальным напряжением $U_{1н} = U_{2н} = 127$ В включены последовательно в сеть 220 В. В каком режиме будут работать эти лампы?

Ответы: 1) лампы горят хуже обычного, так как $U_1 = U_2 = 110 \text{ В} < 127 \text{ В}$; 2) $U_1 = 127 \text{ В}$, а $U_2 = 93 \text{ В}$, поэтому вторая лампа горит тускло; 3) первая лампа скоро перегорит, так как $U_{1н} < U_1$, а вторая горит тускло, так как $U_{2н} > U_2$; 4) лампы работают в нормальном режиме, так как $U_1 = U_2 = 127 \text{ В}$; 5) так как $P_1 < P_2$, то $U_1 < U_2$ и $I_1 < I_2$, поэтому первая лампа горит хуже, чем вторая.

Вопрос 3. Елочная гирлянда с последовательным соединением n ламп включена в сеть с напряжением U . Каково будет напряжение на перегоревшей лампе $U_{п}$ и на каждой исправной лампе $U_{и}$?

Ответы: 1) $U_{п} = 0$, $U_{и} = U/(n-1)$; 2) $U_{п} = U$, $U_{и} = U/(n-1)$; 3) $U_{п} = 0$; $U_{и} = U$; 4) $U_{п} = U$, $U_{и} = 0$; 5) $U_{п} = U_{и} = U/n$.

Вопрос 4. Как изменится мощность источника, если две одинаковые лампы, соединенные последовательно, переключить на параллельную схему?

Ответы: 1) P не изменится; 2) P увеличится в два раза; 3) P уменьшится в два раза; 4) P увеличится в четыре раза; 5) P уменьшится в четыре раза.

Вопрос 5. Три резистора $R_1 = 9 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$ соединены параллельно. Сила тока в первом — $I_1 = 4 \text{ А}$. Какова сила тока в неразветвленной части цепи?

Ответы: 1) $I = 12 \text{ А}$; 2) $I = 6 \text{ А}$; 3) $I = 10 \text{ А}$; 4) $I = 16 \text{ А}$; 5) $I = 22 \text{ А}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6

Вопрос 1. Как изменятся токи и напряжения в исследуемой цепи, если увеличить R_5 ?

Ответы: 1) $I_1, I_2, I_3, I_4, U_1, U_5, U_{AB}$ уменьшатся; 2) I_2, I_3, I_4, U_{AB} не изменятся, I_1 и U_1 уменьшатся, U_5 увеличится; 3) I_1, U_1, U_{AB} уменьшатся, а I_2, I_3, I_4, I_5 увеличатся; 4) U_5 увеличится, $I_1, I_2, I_3, I_4, U_1, U_5, U_{AB}$ уменьшатся; 5) I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 уменьшатся, а U_1 и U_{AB} увеличатся.

Вопрос 2. Как изменятся токи и напряжения в исследуемой цепи, если увеличить R_3 ?

Ответы: 1) I_1, I_3, U_1, U_5 увеличатся, I_2, I_4, U_{AB} уменьшатся; 2) $I_1, I_2, I_3, I_4, U_1, U_5, U_{AB}$ уменьшатся; 3) I_3, U_{AB} уменьшатся, I_1, I_2, I_4, U_1, U_5 увеличатся;

- 4) I_2, I_4, U_{AB} увеличатся, а I_1, I_3, U_1, U_5 уменьшатся;
 5) U_1, U_5 не изменятся, а $I_1, I_2, I_3, I_4, U_{AB}$ уменьшатся.

Вопрос 3. Как изменятся токи и напряжения в исследуемой цепи, если уменьшить R_1 ?

Ответы: 1) U_5, U_{AB} уменьшатся, а I_1, I_2, I_3, I_4, U_1 увеличатся; 2) I_2, I_3, I_4, U_1 уменьшатся, а I_1, U_5, U_{AB} увеличатся; 3) I_1, U_1, U_5 уменьшатся, а I_2, I_3, I_4, U_{AB} увеличатся; 4) U_1 уменьшится, а $I_1, I_2, I_3, I_4, U_5, U_{AB}$ увеличатся; 5) $I_1, I_2, I_3, I_4, U_1, U_5, U_{AB}$ увеличатся.

Вопрос 4. Для цепи (см. рис. 2.17) дано: $R_1 = R_2 = 15 \text{ Ом}$, номинальные величины ламп $U_H = 220 \text{ В}$, $P_H = 60 \text{ Вт}$. Определить I_H, I_1 , силу тока в каждой лампе I_L , если $U = 150 \text{ В}$.

Ответы даны в табл. 3.3.

Таблица 3.3

№ ответа	1	2	3	4	5
$I_L, \text{ А}$	0,13	0,19	0,13	0,13	0,19
$I_1, \text{ А}$	1,55	2,26	1,55	2,26	1,55
$I_H, \text{ А}$	3,62	3,62	0,27	3,62	0,27

Вопрос 5. Как изменятся токи, падения напряжения и мощности потребителей, если все сопротивления в цепи (см. рис. 2.17) уменьшить в два раза?

Ответы даны в табл. 3.4.

Таблица 3.4

№ ответа	Сила токов	Падения напряжений	Мощности
1	Увеличится в два раза	Увеличится в два раза	Увеличатся в два раза
2	Уменьшится в два раза	Не изменятся	Уменьшатся в два раза

№ ответа	Сила токов	Падения напряжений	Мощности
3	Увеличится в четыре раза	Увеличатся в два раза	Увеличатся в четыре раза
4	Уменьшится в два раза	Уменьшатся в два раза	Уменьшатся в четыре раза
5	Увеличится в два раза	Не изменятся	Увеличатся в два раза

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 7

Вопрос 1. Сколько треугольников и трехлучевых звезд в схеме рис. 3.10?

Ответы: 1) Δ —4; Y—4; 2) Δ —4, Y—3; 3) Δ —3, Y—3; 4) Δ —3, Y—4; 5) Δ —2, Y—3.

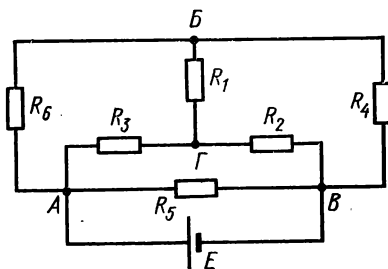


Рис. 3.10

Вопрос 2. Какой треугольник или звезду целесообразнее преобразовать, чтобы упростить схему рис. 3.10?

Ответы: 1) Δ AГB; 2) Δ AБГ; 3) Y AБГ с центром в точке B; 4) Δ ABB; 5) Y БГB с центром в точке A.

Вопрос 3. Для схемы рис. 3.10 записаны формулы преобразования. Какая из этих формул содержит ошибку?

Ответы: 1) Y AБB (точка Г—центр) преобразуется в Δ $R_{AB} = R_1 + R_3 + R_1 R_3 / R_2$; 2) Δ БВГ преобразуется в Y $R_B = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_4}$; 3) Δ AБГ преобразуется в Y $R_A = \frac{R_3 R_6}{R_1 + R_3 + R_6}$; 4) Y AГB (точка B—центр) преобразу-

ется в $\Delta R_{AG} = R_1 + R_6 + R_1 R_6 / R_4$; 5) ΔABB преобразуется в Y $R_B = \frac{R_5 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$.

Вопрос 4. Для схемы рис. 3.10 дано: $E = 12$ В, $R_1 = R_2 = R_3 = 6$ Ом, $R_4 = R_5 = R_6 = 8$ Ом; $R_0 = 0$. Определить силу тока в источнике.

Ответы: 1) $I = 3$ А; 2) $I = 1$ А; 3) $I = 6$ А; 4) $I = 4$ А; 5) $I = 2$ А.

Вопрос 5. Для схемы рис. 3.11 дано: $R_1 = 14$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 30$ Ом, $R_5 = 50$ Ом, $R_6 = 20$ Ом. Определить эквивалентное сопротивление цепи.

Ответы: 1) $R_{\text{экв}} = 11$ Ом; 2) $R_{\text{экв}} = 129$ Ом; 3) $R_{\text{экв}} = 52$ Ом; 4) $R_{\text{экв}} = 30$ Ом; 5) $R_{\text{экв}} = 19$ Ом.

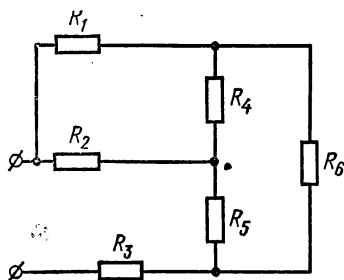


Рис. 3.11

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 8

Вопрос 1. Каковы характерные особенности холостого хода? Укажите неправильный ответ.

Ответы:

- 1) $\eta = 1$; 2) $I = I_k / 2$; 3) U_2 — максимально;
4) $P = 0$; 5) $U_1 = 0$.

Вопрос 2. Каковы характерные особенности короткого замыкания? Укажите неправильный ответ.

Ответы:

- 1) $P_2 = 0$; 2) $I_k = U / R_1$; 3) $U_1 = U_2$; 4) $P_1 = P$; 5) $R_2 = 0$.

Вопрос 3. Каковы характерные особенности режима, при котором $R_1 = R_2$. Укажите правильный ответ.

Ответы:

- 1) $U_1 = U$; 2) $\eta = 0$; 3) P_1 — максимально; 4) $I = U/2R$;
5) $\eta = 1$.

Вопрос 4. В схеме (рис. 2.21) известно: $U = 100$ В, $P_1 = 24$ Вт, $I = 2$ А. Рассчитать R_1 , R_2 , U_1 , P_2 и η . Указать неправильный ответ.

Ответы:

- 1) $R_1 = 6$ Ом; 2) $R_2 = 44$ Ом; 3) $U_1 = 12$ В; 4) $P_2 = 176$ Вт;
5) $\eta = 12\%$.

Вопрос 5. Изменение какой величины правильно указано на графике рис. 3.12?

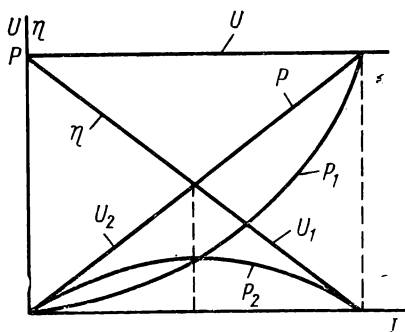


Рис. 3.12

Ответы:

- 1) U_1 и U_2 ; 2) P_1 и P_2 ; 3) P и η ; 4) η ; 5) все правильно.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 9

Вопрос 1. Может ли ток в какой-либо ветви схемы рис. 2.23 оказаться равным нулю при действующих источниках и при сопротивлениях, не равных бесконечности?

Ответы: 1) могут; 2) не могут; 3) I_1 и I_2 могут, I_3 не может; 4) I_1 и I_2 — не могут, I_3 может; 5) I_1 и I_3 могут, I_2 не может.

Вопрос 2. Если при сравнении опытных и расчетных результатов в расчете не учитывать внутренние сопротивления источников и миллиамперметров, то ...

Ответы: 1) ... все токи окажутся меньше, чем в опыте; 2) ... все токи окажутся больше, чем в опыте; 3) ... частичные токи окажутся меньше, чем в опыте; 4) ... частичные токи окажутся больше, чем в опыте; 5) ... некоторые токи изменятся, а некоторые останутся прежними.

Вопрос 3. В цепи рис. 3.13 $E_1=E_2=E_3$, $R_1=R_2=R_3$. Каково соотношение токов в ветвях?

Ответы: 1) $I_1=I_2=I_3$; 2) $2I_1=2I_2=I_3$; 3) $I_1=0$, $I_2=I_3$; 4) $I_2=0$, $I_1=I_3$; 5) $I_1=I_2=2I_3$.

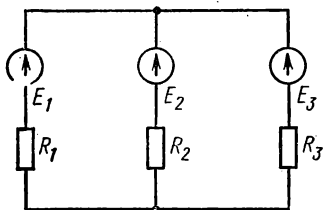


Рис. 3.13

Вопрос 4. В схеме рис. 2.23 определить первые частичные токи, если известно:

$E_1=100$ В, $E_2=250$ В, $R_1=20$ Ом, $R_2=35$ Ом, $R_3=56$ Ом, $R_{01}=2$ Ом, $R_{02}=1$ Ом, $R_{mA}=4$ Ом.

Ответы даны в табл. 3.5.

Таблица 3.5

№ ответа	I'_1	I'_2	I'_3
	А	А	А
1	2	1,2	0,8
2	5	2	3
3	2	0,8	1,2
4	5	3	0,8
5	2	1	1

Вопрос 5. Какой величины должна быть э. д. с. E_2 (рис. 3.14), чтобы реальный ток I_2 оказался равным нулю, если $E_1=120$ В, $R_{01}=R_{02}=5$ Ом, $R=55$ Ом?

Ответы: 1) это невозможно; 2) $E_2=110$ В; 3) $E_2=60$ В; 4) $E_2=55$ В; 5) $E_2=120$ В.

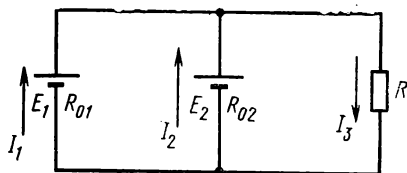


Рис. 3.14

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 10

Вопрос 1. Какой метод используется в настоящей лабораторной работе для расчета силы тока внутри двухполюсника при холостом ходе?

Ответы: 1) наложения; 2) узлового напряжения; 3) контурных токов; 4) свертывания схемы; 5) преобразования.

Вопрос 2. Для схемы рис. 3.15 $E=56$ В, $E_2=14$ В, $R_{01}=R_{02}=2$ Ом, $R_1=20$ Ом, $R_2=11$ Ом, $R_3=5$ Ом.

Рассчитать эквивалентную э. д. с. E_3 двухполюсника для определения силы тока в третьей ветви.

Ответы: 1) $E_3=12$ В; 2) $E_3=10,9$ В; 3) $E_3=1,6$ В; 4) $E_3=29,6$ В; 5) $E_3=32$ В.

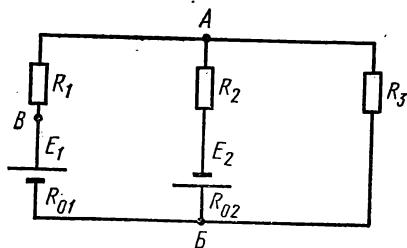


Рис. 3.15

Вопрос 3. Для задачи вопроса 2 определить входное сопротивление R_3 .

Ответы: 1) $R_3=7,1$ Ом; 2) $R_3=35$ Ом; 3) $R_3=31$ Ом; 4) $R_3=8,15$ Ом; 5) $R_3=13,15$ Ом.

Вопрос 4. В результате испытания двухполюсника получили напряжение на выходе $U_{xx}=40$ В. При включении потребителя возникал ток $I'=2$ А, а падение напряжения на нем $U'=30$ В. Определить силу тока на выходе двухполюсника при коротком замыкании.

Ответы: 1) $I_K=1,5$ А; 2) $I_K=2,7$ А; 3) $I_K=8$ А; 4) $I_K=6$ А; 5) $I_K=2$ А.

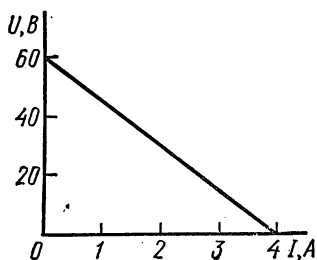


Рис. 3.16

Вопрос 5. По вольт-амперной характеристике рис. 3.16 двухполюсника определить сопротивление нагрузки, если сила тока $I_H = 3$ А.

Ответы: 1) $R_H = 2$ Ом; 2) $R_H = 3$ Ом; 3) $R_H = 4$ Ом; 4) $R_H = 5$ Ом; 5) задачу решить нельзя.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 11

Вопрос 1. Как изменится режим работы электрической цепи рис. 2.26, если увеличить количество включенных ламп?

Ответы: 1) эквивалентное сопротивление потребителя увеличится; 2) сила тока в цепи уменьшится; 3) потеря напряжения в проводах уменьшится; 4) напряжение на потребителе возрастет; 5) мощность, потребляемая от генератора, увеличится.

Вопрос 2. Потерю напряжения в проводах можно уменьшить несколькими способами. Укажите неправильный ответ.

Ответы: 1) увеличить сечение проводов линии; 2) выбрать материал провода с меньшей удельной проводимостью; 3) применять высокое напряжение при передаче электроэнергии; 4) уменьшить, насколько это возможно, длину линии электропередачи; 5) применять материал проводов с малым значением ρ .

Вопрос 3. Укажите, какая формула содержит ошибку.

Ответы: 1) $\Delta U = U_1 - U_2$;

2) $\Delta U = I \rho \frac{l}{S}$; 3) $\eta = 1 - \frac{\Delta U}{U_1}$; 4) $e = \frac{\Delta U}{U_1} 100\%$; 5) $S = \frac{2 \rho I P_2 100}{e U_2^2}$.

Вопрос 4. Рассчитать сечение алюминиевого провода линии электропередачи длиной 0,5 км с напряжени-

ем на потребителе 380 В, мощность которого $P=50$ кВт, если $\epsilon=5\%$.

Ответы: 1) $S=60$ мм²; 2) $S=200$ мм²; 3) $S=20$ мм²; 4) $S=50$ мм²; 5) $S=100$ мм².

Вопрос 5. Как изменятся напряжения U_1 и U_2 , если увеличить R_1 (рис. 3.17)?

Ответы: 1) U_1 не изменится; U_2 увеличится; 2) U_1 и U_2 увеличатся; 3) U_1 увеличится; U_2 не изменится; 4) U_1 уменьшится, U_2 увеличится; 5) U_1 увеличится; U_2 не изменится.

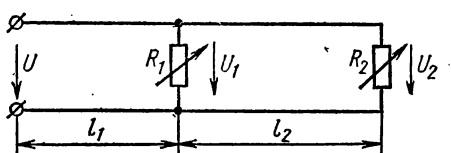


Рис. 3.17

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 12

Вопрос 1. Укажите равенство, не характерное для симметричного четырехполюсника.

Ответы: 1) $R_1=R_2$; 2) $A=\sqrt{1+BC}$; ; 3) $A=D$; 4) $R_0=0$; 5) $U_2=DU_1=BI_1$.

Вопрос 2. Возможен ли случай, когда $U_{вх}=U_{вых}$ четырехполюсника?

Ответы: 1) в П-образной схеме, если $R_1=R_2=\infty$; 2) в П-образной схеме, если $R_0=0$; 3) в Т-образной схеме, если $R_0=\infty$; 4) в Т-образной схеме, если $R_0=0$; 5) в П-образной схеме, если $R_1=R_2=0$.

Вопрос 3. На зажимы 1—1 симметричного четырехполюсника подается напряжение $U_1=90$ В. При этом на зажимах 2—2 получается напряжение $U_2=30$ В. Какое напряжение будет на зажимах 1—1, если на зажимы 2—2 подать напряжение 30 В?

Ответы: 1) $U_1=90$ В; 2) $U_1=10$ В; 3) $U_1=30$ В; 4) $U_1=60$ В; 5) $U_1=120$ В.

Вопрос 4. Для П-образной схемы замещения постоянные коэффициенты равны: $B=5$ Ом, $C=1$ См, $D=2$. Определить A .

Ответы: 1) $A=1,8$; 2) $A=8,2$; 3) $A=5$; 4) $A=0,4$; 5) $A=3$.

Вопрос 5. Постоянные четырехполюсника равны: $A=1,1$, $B=64$ Ом, $C=0,005$ См, $D=1,2$. Определить U_1 и I_1 , если известно, что потребитель имеет мощность $P_H=20$ Вт и номинальную силу тока $I_H=0,1$ А.

Ответы даны в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
U_1 , В	104,8	92,75	56	312,2	226,4
I_1 , А	1,5	2,38	2,8	3,1	1,12

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 13

Вопрос 1. В цепи с последовательным соединением двух резисторов R_a и R_b , в. а. х. которых даны на рис. 3.18, возник электрический ток I_1 . Как изменятся R_a , R_b и I , если уменьшить напряжение U_1 ?

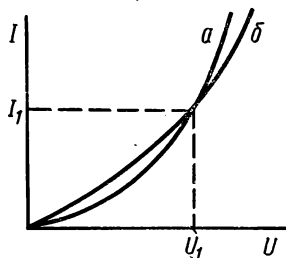


Рис. 3.18

Ответы: 1) I уменьшится, R_a будет больше, чем R_b ; 2) I увеличится, R_a будет больше, чем R_b ; 3) I уменьшится, R_a будет равно R_b ; 4) I увеличится, R_a будет равно R_b ; 5) I увеличится, R_a будет меньше, чем R_b .

Вопрос 2. Нелинейный резистор с выпуклой в. а. х. соединен последовательно с линейным резистором. Как изменится R_d нелинейного резистора и напряжение на нем, если увеличить линейное сопротивление?

Ответы: 1) R_d уменьшится, U увеличится; 2) R_d и U уменьшатся; 3) R_d и U увеличатся; 4) R_d не изменится, U уменьшится; 5) R_d увеличится, U уменьшится.

Вопрос 3. Два резистора, в. а. х. которых даны на рис. 3.19, соединены параллельно. Сила тока в первом $I_1=20$ мА. Определить силу тока I_2 во втором резисторе и на входе цепи I , а также напряжение на зажимах.

Ответы даны в табл. 3.7.

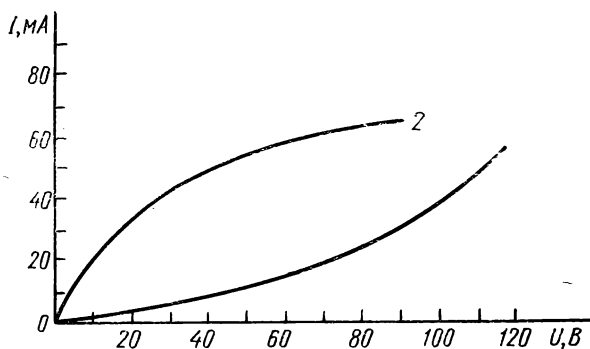


Рис. 3.19

Таблица 3.7

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
I_2 , мА	80	70	80	60	60
I , мА	70	80	60	80	70
U , В	60	60	70	70	80

Вопрос 4. Нелинейный резистор, в. а. х. которого дана на рис. 3.20, соединен последовательно с линейным резистором $R_2=50$ кОм. Определить напряжение на нелинейном резисторе U_1 , если $U_2=200$ В.

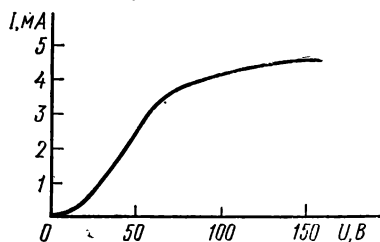


Рис. 3.20

Ответы: 1) $U_1=50$ В; 2) $U_1=90$ В; 3) $U_1=200$ В; 4) $U_1=160$ В; 5) $U_1=110$ В.

Вопрос 5. Определить E_0 и R_d схемы замещения нелинейного резистора, в. а. х. которого дана на рис. 3.21,

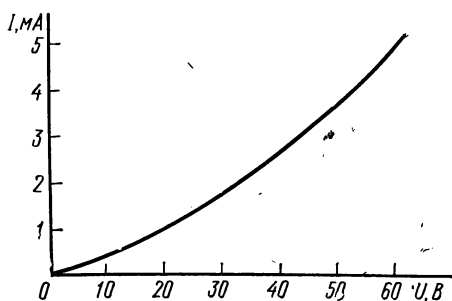


Рис. 3.21

и силу тока для случая, когда $R_{ст} = 12$ кОм.

Ответы даны в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
E_0 , В	75	0	30	60	45
I , мА	1	2	5	4	3
R_d , кОм	11	24	6	14	20

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 14

Вопрос 1. Какой график рис. 3.22 правильно отражает распределение индукции внутри катушки?

Ответ см. в рис. 3.22.

Вопрос 2. Можно ли применить формулу

$$B = \frac{\mu_a I w}{2l} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2)$$

для расчета индукции внутри прямолинейной катушки с сердечником?

Ответы: 1) можно, если сердечник разомкнут; 2) можно, если сердечник замкнут; 3) можно, если сердечник

ферромагнитный; 4) можно, если сердечник неферромагнитный; 5) нельзя.

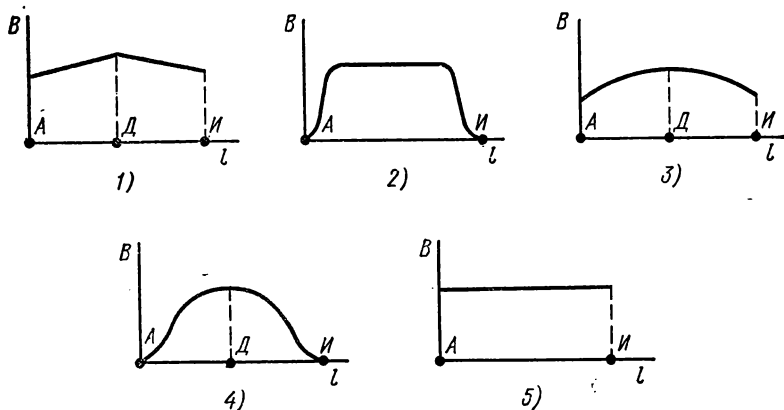


Рис. 3.22

Вопрос 3. Куда направлен вектор магнитной индукции в точке A , если $\omega_1 > \omega_2$ (рис. 3.23).

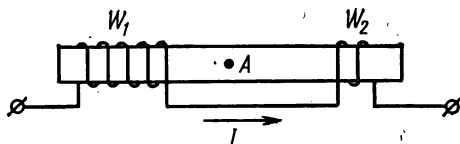


Рис. 3.23

Ответы: 1) вниз; 2) вверх; 3) влево; 4) вправо; 5) $B=0$.

Вопрос 4. Дано: $\omega_1=700$ вит, $\omega_2=200$ вит, $I=5$ А, $R=5$ см, $\mu_a=\mu_0$. Определить магнитную индукцию в центре сечения сердечника (рис. 3.24).

Ответы: 1) $B=2 \cdot 10^{-1}$ Т; 2) $B=1,6 \cdot 10^{-2}$ Т; 3) $B=0,25$ Т; 4) $B=5 \cdot 10^{-3}$ Т; 5) $B=10^{-2}$ Т.

Вопрос 5. Дано $w=2000$ вит, $I=0,1$ А, $R_1=10$ см, $R_2=12$ см, $\mu=2000$. Определить магнитный поток в сердечнике (рис. 3.25).

Ответы: 1) $\Phi=0,72 \cdot 10^{-4}$ Вб; 2) $\Phi=2,28 \cdot 10^{-4}$ Вб; 3) $\Phi=0,914 \cdot 10^{-3}$ Вб; 4) $\Phi=2,28 \cdot 10^{-2}$ Вб; 5) $\Phi=5,7 \times 10^{-5}$ Вб.

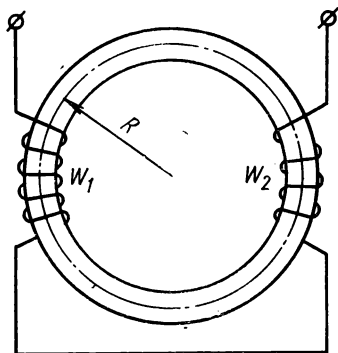


Рис. 3.24

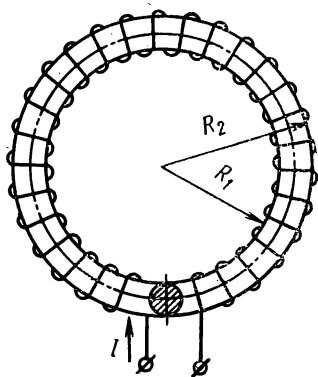


Рис. 3.25

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 15

Вопрос 1. Какие факторы из перечисляемых далее не влияют на магнитное напряжение между двумя точками магнитного поля, созданного катушкой с током?

Ответы: 1) расстояние между точками; 2) расположение точек в магнитном поле; 3) сила тока в катушке; 4) магнитная проницаемость среды, где создается магнитное поле; 5) число витков катушки.

Вопрос 2. Как изменятся намагничивающая сила и напряженность магнитного поля внутри пружины с током, если пружину растянуть?

Ответы: 1) F_H не изменится, H увеличится; 2) F_H не изменится, H уменьшится; 3) F_H увеличится, H не изменится; 4) F_H уменьшится, H увеличится; 5) F_H увеличится, H уменьшится.

Вопрос 3. Две катушки с током расположены на концах неферромагнитного сердечника (рис. 3.26). Как из-

меняется магнитное напряжение между точками А и В внутри (U_{M1}) и снаружи (U_{M2}) сердечника, если катушки сдвинуть?

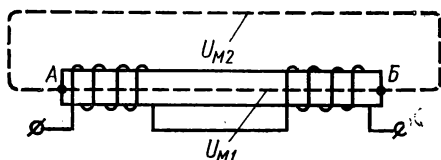


Рис. 3.26

Ответы: 1) U_{M1} и U_{M2} увеличатся; 2) U_{M1} и U_{M2} уменьшатся; 3) U_{M1} и U_{M2} не изменятся; 4) U_{M1} уменьшится, U_{M2} увеличится; 5) U_{M1} увеличится, U_{M2} уменьшится.

Вопрос 4. Для схемы рис. 2.40 дано $w=3600$ вит, $I=1$ А, $\alpha=80$ дел. Каково число витков второй катушки, если при $I'=0,5$ А, $\alpha'=50$ дел?

Ответы: 1) $w'=22\,500$ вит; 2) $w'=45$ вит; 3) $w'=1200$ вит; 4) $w'=2400$ вит; 5) $w'=4500$ вит.

Вопрос 5. На стальной тороидальный сердечник намотаны две катушки с токами $I_1=0,3$ А и $I_2=0,2$ А (рис. 3.27). Определить напряженность магнитного поля на средней линии сердечника, если ее радиус $R=35$ мм, число витков $w_1=500$, а $w_2=1200$.

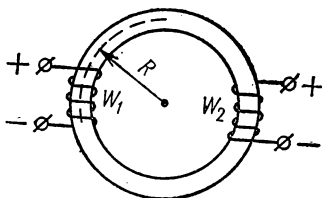


Рис. 3.27

Ответы: 1) $H=8,1$ А/см; 2) $H=12,6$ А/см; 3) $H=4,1$ А/см; 4) $H=3,7$ А/см; 5) $H=6,1$ А/см.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 16

Вопрос 1. На каких участках петли магнитного гистерезиса вектор намагниченности увеличивается? (см. рис. 2.41).

Ответы даны в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
$B=0$ $H=0$	$a б$ $г д$	$б в$ $д е$	$в г$ $е а$	$а в$ $г е$	$б г$ $д а$

Вопрос 2. В каких точках петли гистерезиса магнитные моменты доменов параллельны магнитным силовым линиям, а в каких они расположены хаотически?

Ответы даны в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Положение моментов	№ ответа				
	1	2	3	4	5
Параллельное	$б д$	$в е$	$а г$	$в е$	$а г$
Хаотическое	$а г$	$а г$	$б д$	$б д$	$в е$

Вопрос 3. Какое свойство ферромагнитных тел используется в электромагнитах?

Ответы: 1) нелинейная зависимость $B=f(H)$; 2) наличие остаточной индукции; 3) высокая магнитная проницаемость; 4) наличие потерь при перемагничивании; 5) способность насыщаться.

Вопрос 4. Определить индукцию магнитного поля в сердечнике, относительная магнитная проницаемость которого $\mu=1000$, а напряженность поля $H=11$ А/см.

Ответы: 1) $B=1,38$ Т; 2) $B=0,14$ Т; 3) $B=1,25$ Т; 4) $B=0,84$ Т; 5) $B=12,56$ Т.

Вопрос 5. По условиям предыдущей задачи определить индукцию поля, если сердечник из катушки удалить?

Ответы: 1) $B=0,0014$ Т; 2) $B=1,25$ Т; 3) $B=0,0037$ Т; 4) $B=0,76$ Т; 5) $B=0,022$ Т.

Вопрос 1. Будет ли наводиться э. д. с. в неподвижном контуре?

Ответы: 1) будет, если изменяется потокоцепление контура; 2) будет, если изменяется индукция поля, где находится контур; 3) не будет, так как э. д. с. возникает только в движущихся проводниках; 4) будет, если контур расположен перпендикулярно к вектору магнитной индукции; 5) не будет, так как контур не пересекает магнитных силовых линий.

Вопрос 2. В каком направлении следует перемещать металлический куб, чтобы на заштрихованной поверхности появился отрицательный заряд, а на параллельной грани — положительный, если вектор индукции направлен вниз (рис. 3.28)?

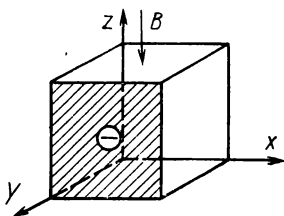


Рис. 3.28

Вопрос 3. На каком из рис. 3.29 неправильно проставлены направления тока, скорости или противо-э. д. с. электродвигателя?

Ответы:

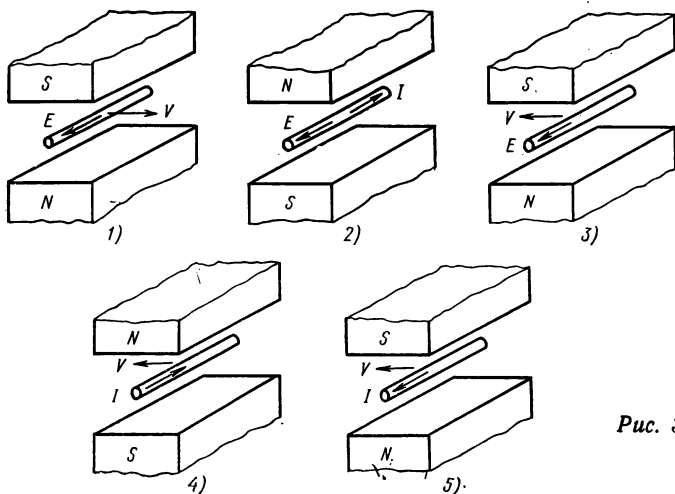


Рис. 3.29

Вопрос 4. Проводник длиной 1 м движется со скоростью 50 м/сек и пересекает магнитные силовые линии под углом 30° . Определить индукцию магнитного поля, если наведенная э. д. с. $E=30$ В.

Ответы: 1) $B=0,4$ Т; 2) $B=2,2$ Т; 3) $B=1,2$ Т; 4) $B=0,9$ Т; 5) $B=0,6$ Т.

Вопрос 5. В обмотке заторможенного якоря электродвигателя при напряжении 120 В установился ток силой 30 А. Определить э. д. с. двигателя, если во время вращения сила тока в якоре упала до 2 А.

Ответы: 1) $E=40$ В; 2) $E=94$ В; 3) $E=112$ В; 4) $E=53$ В; 5) $E=8$ В.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 18

Вопрос 1. Укажите значения величин, пропорционально которым отклоняются подвижные устройства приборов различных систем.

Ответы даны в табл. 3.11.

Т а б л и ц а 3.11

Системы	№ ответа				
	1	2	3	4	5
Магнито-электрическая	Среднее	Максимальное	Среднее	Действующее	Действующее
Электромагнитная	Действующее	Среднее	Максимальное	Мгновенное	Максимальное
Электронная	Максимальное	Действующее	Мгновенное	Максимальное	Среднее
Осциллограф	Мгновенное	Мгновенное	Действующее	Среднее	Мгновенное

Вопрос 2. Чему равно действующее значение силы тока, если кривая имеет прямоугольную форму?

Ответы: 1) $I = I_m / \sqrt{2}$; 2) $I = I_m / 2$; 3) $I = \pi I_m / 2 \sqrt{2}$; 4) $I = I_m$; 5) $I = 0$.

Вопрос 3. Какую форму имеет измеряемое напряжение, если амплитудный электронный вольтметр показал

100 В, электромагнитный — 70,7 В, а магнитоэлектрический — 63,7 В?

Ответы (см. рис. 3.30): 1) ответить на вопрос невозможно.

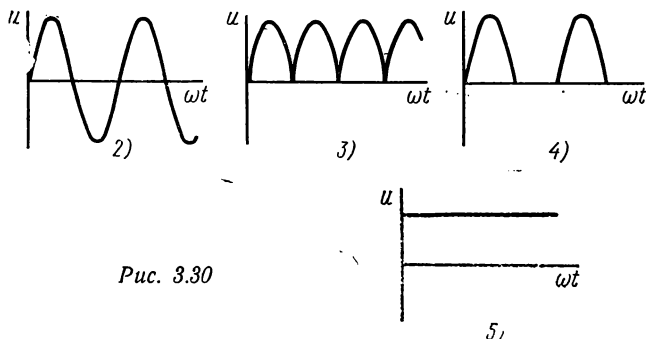


Рис. 3.30

Вопрос 4. Среднее значение синусоидальной э. д. с. $E_{\text{ср}} = 56$ В. Рассчитать действующее и максимальное значение э. д. с.

Ответы даны в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
E , В	62,2	84,9	98	88	112
E_m , В	87,7	101,7	113,8	98	124,4

Вопрос 5. Вольтметр электромагнитной системы показал 150 В, а амплитудный вольтметр ламповой системы, включенный параллельно, — 220 В. Каков характер кривой измеренного напряжения?

Ответы: 1) синусоидальный; 2) выпрямленный двухполупериодный; 3) выпрямленный однополупериодный; 4) уплощенный переменный; 5) заостренный переменный.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 19

Вопрос. 1. Чему равны полные сопротивления реального конденсатора и реальной катушки, если их включить в сеть постоянного тока?

Ответы даны в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
$z_{\text{конд}}$	R	0	R	x_C	∞
$z_{\text{кат}}$	x_L	∞	x_L	0	R

Вопрос 2. Как изменятся x_C , I , U_a , U_C , φ в неразветвленной цепи, содержащей активное и емкостное сопротивление, если увеличить емкость конденсатора?

Ответы даны в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
x_C	Уменьшится	Уменьшится	Увеличится	Увеличится	Уменьшится
I	Увеличится	Увеличится	Уменьшится	Уменьшится	Уменьшится
U_a	Увеличится	Увеличится	Уменьшится	Уменьшится	Увеличится
U_C	Уменьшится	Уменьшится	Увеличится	Увеличится	Уменьшится
φ	Уменьшится	Увеличится	Увеличится	Уменьшится	Уменьшится

Вопрос 3. Даны мгновенные значения тока и напряжения цепи $i = 14,1 \cdot \sin(\omega t + 70^\circ)$, $u = 141 \sin(\omega t + 25^\circ)$.
Определить P и Q .

Ответы даны в табл. 3.15.

Таблица 3.15

— Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
P , Вт	2000	707	1000	2000	1000
Q , вар	1000	—707	—2000	707	1000

Вопрос 4. Дано: $R = 4$ Ом, $x_L = 3$ Ом, $U_3 = 12$ В. Определить показания вольтметров (рис. 3.31).

Ответы даны в табл. 3.16.

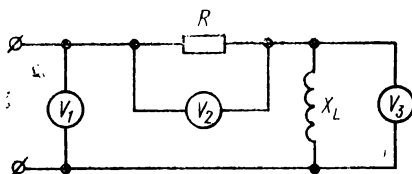


Рис. 3.31

Таблица 3.16

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
U_1 , В	28	12	16	20	28
U_2 , В	16	28	12	16	20

Вопрос 5. На участке цепи напряжение $U = 28,2$ В, а сила тока $I = 2$ А. Определить сопротивление участка, если известна векторная диаграмма (рис. 3.32).

Ответы даны в табл. 3.17.

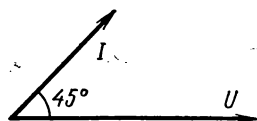


Рис. 3.32

Таблица 3.17

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
z , Ом	56,4	10	14,1	0	10
R , Ом	14,1	0	10	56,4	28,2
x_L , Ом	10	14,1	0	28,2	2
x_C , Ом	0	28,2	10	2	0

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 20

Вопрос 1. Чему равна полная проводимость реальной катушки и реального конденсатора, если их подключить к сети постоянного тока?

Ответы даны в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
$y_{кат}$	0	b_L	∞	0	g
$y_{конд}$	b_C	0	g	∞	b_C

Вопрос 2. Какой из приведенных треугольников мощностей или проводимостей соответствует схеме рис. 3.33?

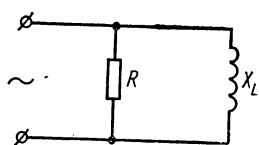


Рис. 3.33

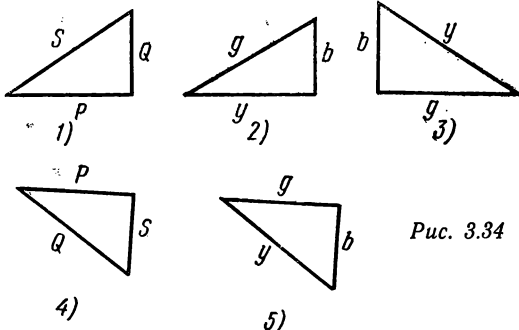


Рис. 3.34

Ответы см. на рис. 3.34.

Вопрос 3. Укажите, какое выражение для цепи рис. 3.35 содержит ошибку.

Ответы: 1) $y = \sqrt{g^2 + b_C^2}$;

2) $I = Uy$; 3) $g = 1/R$;

4) $z = \sqrt{R^2 + x_C^2}$;

5) $U = I_C x_C$.

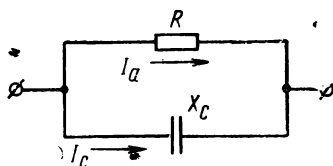


Рис. 3.35

Вопрос 4. В цепи переменного тока (рис. 3.36) амперметр A_2 показывает 20 А, а амперметр A_1 —28,2 А. Каково показание амперметра A_3 ?

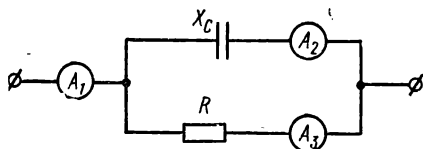


Рис. 3.36

Ответы: 1) $I_3 = 8,2$ А; 2) $I_3 = 20$ А; 3) $I_3 = 14,1$ А; 4) $I_3 = 48,2$ А; 5) $I_3 = 28,2$ А.

Вопрос 5. Дано: $U = 100$ В, $I = 5$ А, вектор тока сдвинут относительно вектора напряжения на угол $\varphi = 30^\circ$.

Определить активное и реактивное сопротивление ветвей (рис. 3.37).

Ответы даны в табл. 3.19.

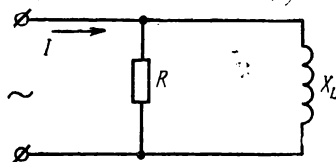


Рис. 3.37

Таблица 3.19

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
R , Ом	20	40	23	23	40
x_L , Ом	40	23	20	40	20

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 21

Вопрос 1. Цепь переменного тока находится в режиме резонанса. Какие два вольтметра электромагнитной си-

стемы покажут одинаковые значения напряжений (рис. 3.38)?

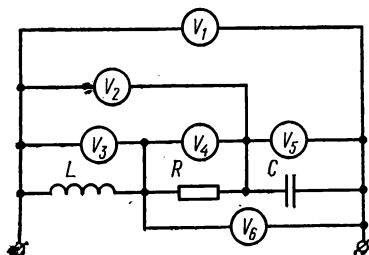


Рис. 3.38

Ответы: 1) U_2 и U_5 ; 2) U_4 и U_1 ; 3) U_3 и U_6 ; 4) U_5 и U_1 ; 5) U_2 и U_4 .

Вопрос 2. При резонансе напряжений в цепи обязательно соблюдаются следующие соотношения:

а) $z=R$, б) $\cos \varphi=1$, в) $Q_L=Q_C=0$, г) $z_B=\sqrt{L/C}$, д) $U_L>U$, е) $S=P$, ж) $\omega L=1/\omega C$, и) $U_a=U$, к) $Q=z_B/R$, л) I — максимальное.

Ответы:

1) а, и; 2) л, г; 3) ж, б; 4) в, д; 5) е, к.

Укажите неверные ответы.

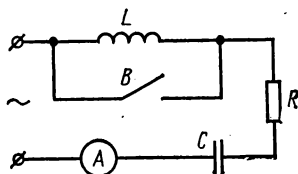


Рис. 3.39

Вопрос 3. Каким должно быть индуктивное сопротивление x_L , чтобы при замыкании рубильника показание амперметра не изменилось (рис. 3.39)?

Ответы:

1) $x_L=x_C$; 2) $x_L=\sqrt{R^2+x_C^2}$; 3) $x_L=x_C+R$; 4) $x_L=2x_C$; 5) $x_L=z$.

Вопрос 4. Определить индуктивность катушки, которую нужно включить последовательно с конденсатором ($C=24$ мкФ), чтобы в цепи с частотой $f=50$ Гц получить резонанс?

Ответы: 1) $L=18,3$ мГ; 2) $L=422$ мГ; 3) $L=24$ мГ; 4) $L=52$ мГ; 5) $L=133$ мГ.

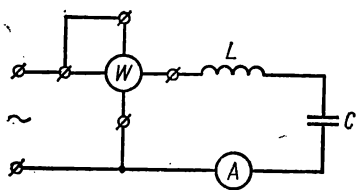


Рис. 3.40

Вопрос 5. Дано $I = 2$ А; $P = 10$ Вт, $L = 1,69$ Г, $f = 50$ Гц.

Определить емкость конденсатора, необходимую для получения резонанса, и добротность цепи (рис. 3.40).

Ответы даны в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
C , мкФ	1,69	6	2,5	1,69	6
Q	530	530	212	10	212

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 22

Вопрос 1. Указать многоугольник токов, соответствующий схеме рис. 3.41, если известно, что $x_L = R = 2x_{C2} = x_{C3}$.

Ответы даны на рис. 3.42.

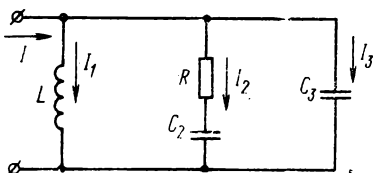


Рис. 3.41

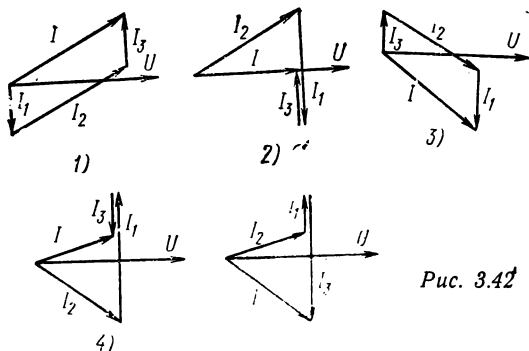


Рис. 3.42

Вопрос 2. При резонансе токов в цепи из двух параллельных ветвей обязательно выполняются следующие соотношения:

- а) $\varphi=0$, б) $f_0=1/2\pi\sqrt{LC}$, в) $b_L=b_C$, г) $I=Ug$, д) $S=P$,
е) $Q=y_B/g$, ж) $I=I_{\min}$, и) $Q=0$, к) $y_B=\sqrt{C/L}$, л) $I_C>I$.

Укажите неправильные из них.

Ответы: 1) в, г; 2) а, ж; 3) к, и; 4) б, л; 5) д, е.

Вопрос 3. Указать уравнение условия резонанса в схеме рис. 3.41.

Ответы:

$$1) \omega L = \frac{1}{\omega C_2} + \frac{1}{\omega C_3}; \quad 2) \frac{x_{C2}}{R^2 + x_{C2}^2} = \frac{1}{x_L};$$

$$3) \sqrt{R^2 + x_{C2}^2} = x_L - x_{C3}; \quad 4) \frac{1}{2\pi f L} = \frac{R}{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_2}\right)^2} +$$

$$+ \frac{1}{2\pi f C_3}; \quad 5) \frac{1}{\omega L} = \frac{1}{\omega C_2 \left[R^2 + \frac{1}{(\omega C_2)^2} \right]} + \omega C_3$$

Вопрос 4. Дано: $R=x_L=10$ Ом, $x_C=20$ Ом, $U=100$ В.

Определить силу тока в неразветвленной части цепи (рис. 3.43).

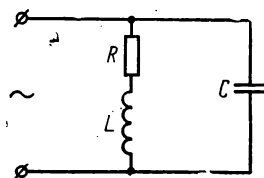


Рис. 3.43

Ответы: 1) $I=7,1$ А; 2) $I=10$ А; 3) $I=5$ А; 4) $I=14,1$ А; 5) $I=0$.

Вопрос 5. Для предыдущей задачи определить индуктивность, емкость и добротность, если $f=50$ Гц.

Ответы даны в табл. 3.21.

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
L , мГ	32	59	17	59	32
C , мкФ	159	227	108	227	108
Q	1	2,5	1	4,3	2,5

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 23

Вопрос 1. Какие факторы не влияют на взаимную индуктивность двух катушек?

Ответы: 1) размеры каждой катушки; 2) расстояние между катушками; 3) материал сердечника; 4) сечение провода катушек; 5) взаимное расположение осей катушек.

Вопрос 2. Как изменятся индуктивность катушек и их взаимная индуктивность, если между двумя катушками поместить ферромагнитное тело? (рис. 3.44).

Ответы: 1) L_1 и L_2 не изменятся, M увеличится; 2) L_1 и L_2 увеличатся, M уменьшится; 3) L_1 , L_2 и M увеличатся; 4) L_1 и L_2 уменьшатся, M увеличится; 5) L_1 , L_2 и M уменьшатся.

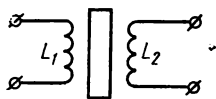


Рис. 3.44

Вопрос 3. В каком случае коэффициент связи максимален?

Ответы (рис. 3.45):

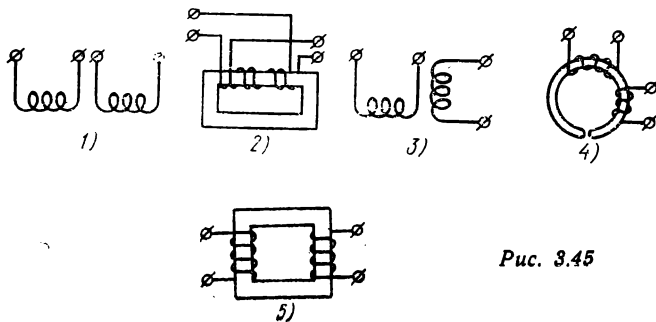


Рис. 3.45

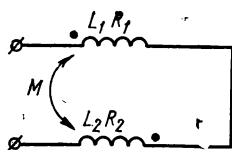


Рис. 3.46

Вопрос 4. Две индуктивно связанные катушки соединены последовательно. Определить комплекс тока в цепи рис. 3.46, если $\dot{U}=127 \text{ В}$; $\omega L_1=3 \text{ Ом}$, $\omega L_2=2 \text{ Ом}$, $\omega M=1,5 \text{ Ом}$, $R_1=4 \text{ Ом}$, $R_2=2 \text{ Ом}$.

Ответы: 1) $\dot{I}=19,8 e^{-j71^\circ 30'}$ А; 2) $\dot{I}=12,7 e^{j53^\circ 10'}$ А; 3) $\dot{I}=19,8 e^{-j18^\circ 30'}$ А; 4) $\dot{I}=12,7 e^{-j53^\circ 10'}$ А; 5) $\dot{I}=19,8 e^{j53^\circ 10'}$ А.

Вопрос 5. Определить взаимную индуктивность двух катушек, если известно, что $L_1=0,1 \text{ Г}$, $L_2=0,4 \text{ Г}$, $K=0,8$.

Ответы: 1) $M=0,5 \text{ Г}$; 2) $M=0,4 \text{ Г}$; 3) $M=0,16 \text{ Г}$; 4) $M=0,32 \text{ Г}$; 5) $M=4 \text{ Г}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 24

Вопрос 1. Как изменится круговая диаграмма (рис. 2.65), если в цепь включить вместо реальной катушки идеальную с той же индуктивностью?

Ответы: 1) диаграмма не изменится; 2) окружности не изменятся, но сила тока при том же значении R_2 увеличится; 3) уменьшится угол φ_k ; 4) при неизменном значении R_2 увеличится P и уменьшится Q_L ; 5) U_a , U_L , U не изменятся, а I увеличится.

Вопрос 2. Как изменится круговая диаграмма (рис. 2.66), если увеличить напряжение на зажимах цепи?

Ответы: 1) x_{LK} увеличится; 2) I уменьшится; 3) Q_L уменьшится; 4) S и P не изменятся; 5) φ и $\cos \varphi$ не изменятся.

Вопрос 3. В каком случае активная мощность цепи получается наибольшей?

Ответы: 1) при коротком замыкании, так как сила тока максимальна; 2) при максимальном активном сопротивлении; 3) при $\cos \varphi=1$, так как $P=UI \cos \varphi$; 4) при $R=x_L$, так как рассматриваемая цепь имеет переменное сопротивление R ; 5) при идеальной катушке, так как $R=0$.

Вопрос 4. По круговой диаграмме (рис. 2.65). Определить $\sin \varphi_K$.

Ответы: 1) $\sin \varphi_K = 0,96$; 2) $\sin \varphi_K = 0,74$; 3) $\sin \varphi_K = 0,65$; 4) $\sin \varphi_K = 0,23$; 5) $\sin \varphi_K = 0,5$.

Вопрос 5. По круговой диаграмме (рис. 2.66) определить индуктивное напряжение катушки U_L , если $x_L = 15 \text{ Ом}$.

Ответы: 1) $U_L = 49 \text{ В}$; 2) $U_L = 87 \text{ В}$; 3) $U_L = 23 \text{ В}$; 4) $U_L = 75 \text{ В}$; 5) $U_L = 53 \text{ В}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 25

Вопрос 1. Указать на круговой диаграмме (рис. 2.68) треугольник мощностей правой ветви.

Ответы: 1) БДЖ; 2) БМК; 3) БМН; 4) БДИ; 5) на круговой диаграмме не обозначен.

Вопрос 2. Указать на круговой диаграмме (рис. 2.68) треугольник сопротивлений всей цепи.

Ответы: 1) БОП; 2) БДИ; 3) БДЖ; 4) БЖИ; 5) на круговой диаграмме не обозначен.

Вопрос 3. Какая круговая диаграмма тока соответствует схеме рис. 3.47?

Ответы (рис. 3.48):

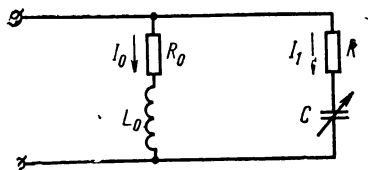


Рис. 3.47

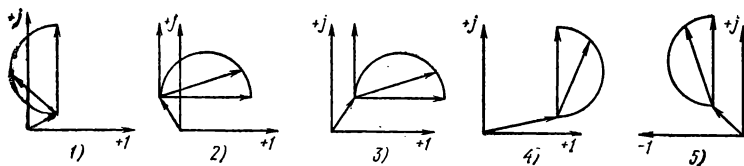


Рис. 3.48

Вопрос 4. Определить по круговой диаграмме (рис. 2.68), при каком сопротивлении R_2 наступает резонанс токов.

Ответы: 1) $R_2=33 \text{ Ом}$; 2) $R_2=78,3 \text{ Ом}$; 3) $R_2=40 \text{ Ом}$; 4) $R_2=5,7 \text{ Ом}$; 5) $R_2=51 \text{ Ом}$.

Вопрос 5. Определить емкостную составляющую тока левой ветви.

Ответы: 1) $I_C=0,12 \text{ А}$; 2) $I_C=1 \text{ А}$; 3) $I_C=0,45 \text{ А}$; 4) $I_C=0,36 \text{ А}$; 5) $I_C=1,46 \text{ А}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 26

Вопрос 1. Симметричная нагрузка характеризуется некоторыми соотношениями. Укажите неверное из них.

Ответы: 1) $\dot{I}_N=0$; 2) $Z_A=Z_B=Z_C$; 3) $\dot{I}_A=\dot{I}_B=\dot{I}_C=0$; 4) $\dot{U}_N=0$; 5) $P=\sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$.

Вопрос 2. Учитывая, что сопротивление нейтрального провода $Z_N=0$, указать топографическую диаграмму, которая соответствует цепи, где ток $I_N \neq 0$.

Ответы (рис. 3.49):

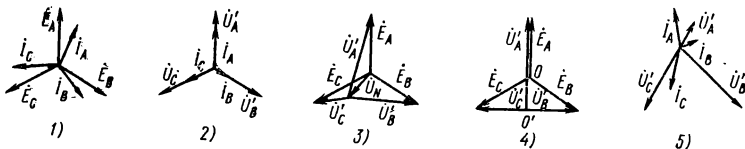


Рис. 3.49

Вопрос 3. Чему равны напряжения на фазах симметричного потребителя, включенного в звезду без нейтрального провода, если при $U_{\text{л}}=380 \text{ В}$ оборвался провод А?

Ответы даны в табл. 3.22.

Величина	№ ответа				
	1	2	3	4	5
U'_A , В	220	0	220	380	0
U'_B , В	190	220	380	220	190
U'_C , В	190	220	380	220	190

Вопрос 4. Сопротивления фаз приемника, соединенного в звезду с нейтральным проводом, равны $Z_A = Z_B = 90 - j 120$ Ом, $Z_C = 30 - j 40$ Ом. Линейное напряжение сети $U_{\text{л}} = 520$ В. Определить силу тока в нейтральном проводе.

Ответы: 1) $I_N = 40$ А; 2) $I_N = 60$ А; 3) $I_N = 34,7$ А; 4) $I_N = 10,4$ А; 5) $I_N = 20$ А.

Вопрос 5. Симметричный потребитель, сопротивление фазы которого $Z = R = 4$ Ом, подключен к трехфазной сети с линейным напряжением 220 В. Определить мощность потребителя.

Ответы: 1) $P = 24,1$ кВт; 2) $P = 55$ кВт; 3) $P = 12,1$ кВт; 4) $P = 20,3$ кВт; 5) $P = 7$ кВт.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 27

Вопрос 1. Укажите формулу комплекса фазного тока несимметричного потребителя, соединенного в треугольник.

Ответы:

$$1) I_{\phi} = I / \sqrt{3}; \quad 2) I_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} Z_{\phi};$$

$$3) I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\text{л}}; \quad 4) I_{\phi} = I_{\text{л}}; \quad 5) I_{\phi} = U_{\text{л}} / Z_{\phi}.$$

Вопрос 2. Укажите, от каких величин зависит угол сдвига между фазным напряжением и током потребителя, соединенного в треугольник.

Ответы: 1) U_{ϕ} ; 2) I_{ϕ} ; 3) $I_{\text{л}}$; 4) Z_{ϕ} ; 5) всегда равен 30° .

Вопрос 3. Как изменится режим работы симметричного потребителя, соединенного в треугольник, если произойдет обрыв линейного провода A ?

Ответы: 1) I_B и I_C не изменятся; 2) I_{AB} и I_{CA} уменьшатся в два раза; 3) I_{BC} увеличится в $\sqrt{3}$; 4) все фазные напряжения уменьшатся; 5) U_{AB} и U_{CA} уменьшатся в $\sqrt{3}$ раз.

Вопрос 4. Симметричный потребитель, соединенный в треугольник, подключен к трехфазной сети с напряжением 220 В. Определить линейный ток, если сопротивление фазы потребителя равно 22 Ом.

Ответы: 1) $I_{\text{л}} = 17,3$ А; 2) $I_{\text{л}} = 10$ А; 3) $I_{\text{л}} = 14,1$ А; 4) $I_{\text{л}} = 24,2$ А; 5) $I_{\text{л}} = 30$ А.

Вопрос 5. Определить коэффициент мощности симметричного потребителя, соединенного в треугольник, если известно, что $U_{\phi} = 220$ В, $I_{\text{л}} = 10$ А, $P = 2,9$ кВт.

Ответы: 1) $\cos \varphi = 0,29$; 2) $\cos \varphi = 0,63$; 3) $\cos \varphi = 0,71$; 4) $\cos \varphi = 0,84$; 5) $\cos \varphi = 0,76$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 28

Вопрос 1. Какие гармоники содержит ток нейтрального провода при несинусоидальной системе э. д. с?

Ответы: 1) при несимметричной нагрузке все нечетные гармоники; 2) все гармоники, кратные трем; 3) при симметричной нагрузке все нечетные гармоники; 4) при симметричной нагрузке $I_N = 0$; 5) только гармоники прямой последовательности.

Вопрос 2. Какие гармоники содержатся в фазных напряжениях потребителя, соединенного в треугольник?

Ответы: 1) все нечетные; 2) все нечетные, кроме кратных трем; 3) только кратные трем; 4) только гармоники прямой последовательности; 5) только гармоники обратной последовательности.

Вопрос 3. Какие гармоники содержит ток в обмотках генератора, соединенных в треугольник при несинусоидальной э. д. с.?

Ответы: 1) при симметричной нагрузке только нечетные гармоники, кратные трем; 2) только гармоники обратной последовательности; 3) при холостом ходе все нечетные гармоники; 4) при нагрузке все нечетные гармоники; 5) нечетные гармоники, кроме кратных трем.

Вопрос 4. Напряжение на открытом треугольнике вторичных обмоток насыщенного трансформатора равно 27 В, а сила тока в этом треугольнике при замыкании его накоротко равна 10 А. Определить сопротивление каждой фазы для первой гармоники, считая, что фазы обладают только индуктивным сопротивлением.

Ответы: 1) $x_L = 0,3 \text{ Ом}$; 2) $x_L = 0,9 \text{ Ом}$; 3) $x_L = 2,7 \text{ Ом}$; 4) $x_L = 0,6 \text{ Ом}$; 5) $x_L = 1,2 \text{ Ом}$.

Вопрос 5. При соединении вторичной обмотки трансформатора в звезду с нейтральным проводом и при симметричной нагрузке линейный ток $I_{\text{л}} = 25 \text{ А}$, а $I_N = 15 \text{ А}$. Определить действующее значение первой гармоники линейного тока.

Ответы: 1) $I_{1\text{л}} = 5 \text{ А}$; 2) $I_{1\text{л}} = 156 \text{ А}$; 3) $I_{1\text{л}} = 24 \text{ А}$; 4) $I_{1\text{л}} = 10 \text{ А}$; 5) $I_{1\text{л}} = 20 \text{ А}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 29

Вопрос 1. Как изменятся магнитные потери, если индукцию в сердечнике уменьшить от 1,2 Т до 0,4 Т?

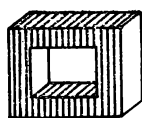
Ответы: 1) увеличатся в 3 раза; 2) уменьшатся в 9 раз; 3) увеличатся в 6 раз; 4) уменьшатся в 3 раза; 5) увеличатся в 4 раза.

Вопрос 2. Как изменятся индукция и магнитные потери, если сечение сердечника уменьшить в 2 раза?

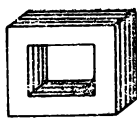
Ответы: 1) B_m увеличится, а P_m уменьшится в 2 раза; 2) B_m уменьшится, а P_m увеличится в 2 раза; 3) B_m и P_m увеличатся в 2 раза; 4) B_m и P_m уменьшатся в 2 раза; 5) B_m увеличится в 2 раза, а P_m не изменится.

Вопрос 3. Какая конструкция сердечника обеспечивает самые маленькие потери от вихревых токов (рис. 3.50)?

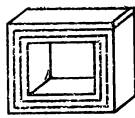
Ответы: 1) а и б; 2) в и г; 3) д и а; 4) б и в; 5) г и д.



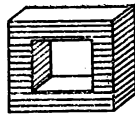
a)



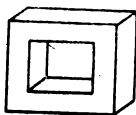
б)



в)



г)



д)

Рис. 3.50

Вопрос 4. Рассчитать напряжение на катушке, необходимое для получения в сердечнике индукции $B_m = 1,5 \text{ Т}$, если $\omega = 200$ вит, $f = 50$ Гц. Размеры сердечника указаны на рис. 3.51.

Ответы: 1) $U = 71 \text{ В}$; 2) $U = 110 \text{ В}$; 3) $U = 98 \text{ В}$; 4) $U = 84 \text{ В}$; 5) $U = 166 \text{ В}$.

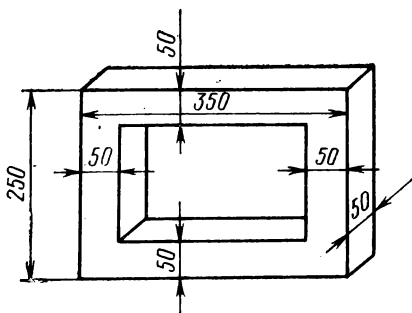


Рис. 3.51

Вопрос 5. Для задачи вопроса 4 определить магнитные потери, если известно, что $U = 110 \text{ В}$, $p_{10/50} = 3,3 \text{ Вт/кг}$ и $D = 7,75 \text{ г/см}^3$.

Ответы: 1) $P_m = 64 \text{ Вт}$; 2) $P_m = 108 \text{ Вт}$; 3) $P_m = 81 \text{ Вт}$; 4) $P_m = 55 \text{ Вт}$; 5) $P_m = 28 \text{ Вт}$.

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТОЧКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 30

Вопрос 1. Определить по графику рис. 3.52 постоянную времени переходного процесса.

- Ответы:** 1) $\tau = 120$ с;
 2) $\tau = 112$ с; 3) $\tau = 28$ с;
 4) $\tau = 44$ с; 5) $\tau = 74$ с.

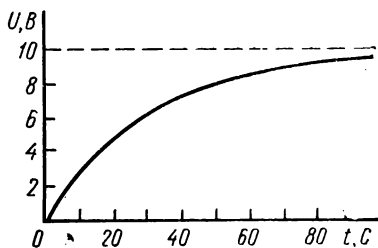


Рис. 3.52

Вопрос 2. График какой величины и какой процесс изображен на рис. 3.53.

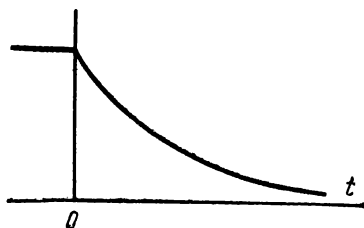


Рис. 3.53

- Ответы:** 1) u_C при зарядке; 2) u_C при разрядке;
 3) i при зарядке; 4) i при разрядке; 5) u_R при зарядке.

Вопрос 3. Каким образом можно ускорить процесс зарядки конденсатора?

- Ответы:** 1) уменьшить R ; 2) увеличить U ; 3) увеличить C ; 4) уменьшить i ; 5) увеличить τ .

Вопрос 4. Определить u_C при разрядке конденсатора емкостью 50 мкФ на резистор с сопротивлением 500 кОм через время $t = 50$ с, если начальное напряжение конденсатора $U = 200$ В.

- Ответы:** 1) $u_C = 14$ В; 2) $u_C = 27$ В; 3) $u_C = 20$ В;
 4) $u_C = 32$ В; 5) $u_C = 41$ В.

Вопрос 5. Через время $t = \tau$ после включения конденсатора емкостью 100 мкФ под напряжение 200 В, ток в цепи был равен 37 мА.

Определить τ .

- Ответы:** 1) $\tau = 0,5$ с; 2) $\tau = 0,4$ с; 3) $\tau = 0,3$ с; 4) $\tau = 0,2$ с; 5) $\tau = 0,1$ с.

Глава IV

ОРГАНИЗАЦИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ

§ 4.1. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

В результате многолетней практики учебных заведений выработаны четыре основных метода проведения лабораторных работ: поточный, двойной поточный, полуфронтальный и фронтальный.

Применение первого метода оправдано при заочном обучении, когда учащиеся, теоретически изучив определенный раздел курса, в конце семестра выполняют сразу весь цикл соответствующих работ. При поточном методе все бригады делают разные по темам работы, а затем перемещаются на следующий стенд, согласно кольцевой системе. В этом случае лаборатория оснащена разными стендами, а каждая лабораторная работа выполняется на определенном месте.

Поточный метод характеризуется минимальным количеством используемых приборов и аппаратов, тщательной отработкой и подгонкой всего оборудования, но применительно к очному обучению имеет существенные недостатки. Во-первых, практическое подтверждение теоретически изученного материала откладывается на значительный срок, за который должен быть изучен весь раздел (совершенно недопустимо проводить лабораторное занятие на тему, которая теоретически еще не изучена). Во-вторых, лабораторные работы начинаются полтора-два месяца спустя после начала семестра. Это вызывает неритмичную работу лаборатории, перегрузку ее в конце семестра.

При двойном поточном методе каждая работа дублируется, поэтому появляется большее число рабочих мест и начало лабораторных занятий можно сдвинуть на более ранние сроки. Как и в предыдущем случае, каждая лабораторная работа закреплена за определенным стен-

дом. Естественно, что стоимость и занимаемая площадь такой лаборатории увеличиваются в два раза. Разрыв между практическими работами и теоретическими занятиями значительно сокращается, хотя и не исчезает совсем.

Тройной поток организовывать нецелесообразно, так как размеры и стоимость лаборатории при этом растут, а методические недостатки остаются.

В системе дневного и вечернего обучения лучше применять полуфронтальный метод. Он заключается в том, что бригады первой подгруппы выполняют одну и ту же работу на 5—6 рабочих местах, а бригады второй подгруппы — другую работу. В этом случае необходимо использовать два типа лабораторных стендов, на каждом из которых можно проделать половину всех работ. Например, стенды первого типа предназначены для нечетных работ (нечетный стенд), а стенды второго типа — для четных работ (четный стенд).

Последовательность лабораторных работ должна быть выбрана такой, чтобы работы № 1 и 2 были близки по тематике. Они выполняются двумя подгруппами одновременно. На следующем занятии подгруппы меняются местами. На третьем занятии проводятся работы № 3 и 4 и т. д.

Таким образом, закрепляется теоретический материал вскоре после его изучения. Упрощается работа преподавателя, так как объяснение можно давать для большой группы учащихся. Полуфронтальный метод позволяет начинать лабораторный практикум почти с начала семестра.

Фронтальный метод предусматривает проведение всеми учащимися одной и той же лабораторной работы. Все стенды в этом случае однотипны, на каждом из них можно проделать любую работу. Отставание практических занятий от теоретических зависит только от расписания. Правда, стенд становится более громоздким и дорогим, чем при полуфронтальном методе, но разумно подобрав приборы и аппараты можно использовать их в нескольких лабораторных работах, тогда разница в стоимости стенда сокращается до 10—20%. Этот метод считается самым перспективным, так как он обеспечивает наибольший эффект от практических занятий.

Иногда встречается комбинация из двух или трех методов проведения лабораторных работ.

§ 4.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

Время, отведенное для лабораторных работ, невелико, поэтому надо стремиться использовать его рационально. Очевидно, что учащийся не сможет за 2 часа подготовиться к работе, провести эксперимент, сделать расчет, оформить отчет и защитить работу. С другой стороны, нужно стремиться, насколько это возможно, перенести максимум работы учащегося на занятия в лаборатории. Это вызвано тем, что здесь учащийся имеет несравненно больше возможностей для консультаций как с преподавателем, так и с техническим персоналом лаборатории и со своими сокурсниками.

Иногда составление учащимися отчета по работе встречает трудности. Это вызвано неумением быстро и правильно обработать полученные результаты, поэтому в описании каждой лабораторной работы настоящего руководства приводятся формулы, необходимые для расчета. В более сложных случаях указывается порядок расчета. Последовательность столбцов в таблицах также соответствует очередности измеряемых и рассчитываемых величин. Однако учащийся должен выбрать из раздела «Подготовка к работе» те формулы, которые необходимы.

Трудности, связанные с большим объемом письменных и графических работ отчета, целесообразно облегчить выдачей бланков, отпечатанных типографским способом (см. приложение).

Программа работы может быть записана в отчет в сокращенном виде, а однотипные расчеты представлены только одним примером.

Лабораторные работы должны развивать творческое мышление учащихся, самостоятельность в решении практических задач, уверенность в своих силах. В связи с этим детальная программа некоторых работ не указана, а только сформулирована цель и общая задача опытов. Учащиеся должны самостоятельно составить схему, разделить опыт на отдельные этапы, сформулировать вопросы программы, составить таблицы для записи результатов. Такой метод следует применять только для наиболее простых лабораторных работ. Некоторые схемы можно предварительно рассчитать, а затем на опыте проверить токи, напряжения, мощности по известным параметрам.

Те два часа, которые группа проводит в лаборатории, должны быть полностью насыщены дидактической деятельностью. Роль преподавателя в лаборатории не должна сводиться к наблюдению за работой учащихся и к проверке схем, она заключается в методическом руководстве практическим обучением. Следует обучать, как быстро и правильно собирать цепь, как устранить влияние внешних факторов на точность измерения, какую применить методику опыта, как контролировать ход эксперимента, как пользоваться приборами и т. д.

Технический персонал лабораторий должен обеспечить бесперебойную работу аппаратуры, поэтому каждый стенд после его установки необходимо наладить, систематически устранять мелкие неполадки, проводить профилактический осмотр и ремонт. Присутствие лаборанта во время лабораторной работы обязательно.

Персоналом лаборатории и преподавателями должны быть полностью проделаны все лабораторные работы и по каждой работе составлен контрольный отчет. Таким образом, в руководящих материалах для преподавателя должно быть указано напряжение питания, величины сопротивлений, емкостей, используемые катушки, номинальные значения приборов и т. д. Учащимся эти сведения могут быть даны преподавателем в начале занятия устно или письменно.

Только при тщательной отработке каждого опыта, подгонке параметров цепи можно получить стабильные результаты.

По окончании экспериментов, при наличии свободного времени, учащиеся могут рассчитать одну-две точки и показать результаты преподавателю. Затем следует отметить выполнение лабораторной работы учащимся в журнале и поставить оценку за коллоквиум и за активность на уроке.

§ 4.3. ЗАЧЕТ

По каждой лабораторной работе учащийся должен получить зачет. Для повышения эффективности труда преподавателя зачет по лабораторной работе может содержать программированный опрос. В настоящем руководстве в качестве примера приводится текст 30 карточек, каждая из которых содержит пять вопросов, причем, в двух из них — задачи. Из пяти приводимых ответов на

каждый вопрос, согласно заданию, требуется указать один правильный или один неправильный ответ. По каждой лабораторной работе можно использовать несколько подобных карточек. Вопросы в контрольных карточках, как правило, более трудные, требуют для ответа более глубоких знаний, чем вопросы самопроверки.

Зачет может проходить в форме личной беседы преподавателя с учащимися и содержать анализ выводов, сделанных учащимся в отчете. Можно предложить ему составить схему, собрать цепь, изложить ход работы, повторить расчет для одной какой-либо точки, построить ее на графике, построить векторную диаграмму и т. д., т. е. следует контролировать знания по различным этапам лабораторной работы. Особое значение имеет понимание учащимся цели работы.

Критерий оценки ответов по карточкам и в устной беседе вырабатывается самим преподавателем в соответствии с установившимися традициями техникума. Согласно положению, оценка за выполнение всех лабораторных работ в ведомость не выставляется, но оценка за каждую работу должна быть выставлена на специально отведенную страницу журнала. Такая система не только стимулирует работу учащегося, но и дает преподавателю более полное представление о знаниях учащегося, его работоспособности, трудолюбии, аккуратности и помогает вывести объективную оценку за семестр.

Хорошие результаты дает зачет по каждой лабораторной работе на следующем занятии.

Такой порядок позволяет регулярно проверять представленные отчеты и устраняет перегрузки в конце семестра.

§ 4.4. ПЛАН ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

В зависимости от способа проверки домашней подготовки учащихся и вида зачета возможны различные схемы построения урока. Далее предлагаются два плана урока лабораторных занятий.

План урока № 1

1. Тема — указана в графике проведения лабораторных работ, составленном заведующим лабораторией на

время семестра в соответствии с календарно-тематическим планом преподавателя.

2. Цель урока — указана в описании каждой лабораторной работы.

3. Организационный момент состоит из:

а) подготовки и размещения лаборантом необходимого оборудования на стендах (во время перемены);

б) фиксации отсутствующих учащихся в журнале учебных занятий;

в) повторения целей и задач урока;

г) инструкции по используемым приборам и аппаратам, по сборке цепи, информации о величине напряжения источников питания в данной лабораторной работе и т. д.

4. Сборка цепи с одновременной проверкой домашнего задания состоит из:

а) выбора приборов и аппаратов;

б) сборки цепи;

в) проверки подготовки учащихся к текущей лабораторной работе по вопросам, указанным в описании (коллективно);

г) проверки отчета за прошлую лабораторную работу (устно или программированным методом).

5. Включение цепи содержит:

а) проверку собранной цепи;

б) включение цепи;

в) пробный опыт.

6. Проведение эксперимента включает:

а) необходимую регулировку и снятие отсчета;

б) запись в рабочую тетрадь (в протокол) результатов измерения;

в) самоконтроль.

7. Предварительная обработка полученных результатов состоит из:

а) расчета нескольких точек;

б) чернового построения графиков;

в) анализа результатов.

8. Контроль преподавателем результатов эксперимента и учет проделанной работы.

9. Подведение итогов.

10. Задание на дом.

11. Уборка рабочего места.

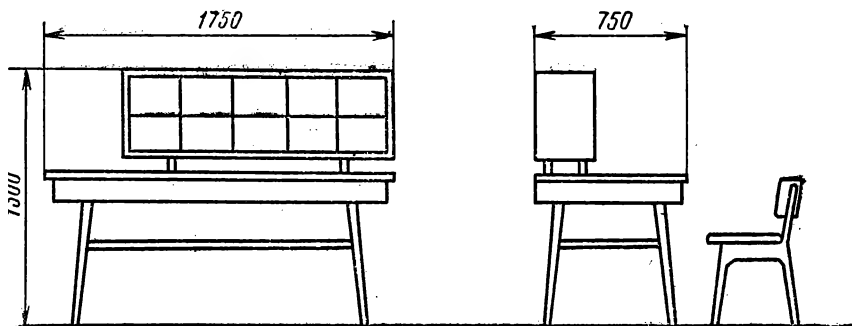
План урока № 2

1. Тема.
2. Цель урока.
3. Организационный момент содержит:
 - а) подготовку и размещение лаборантом необходимого оборудования на стендах во время перемены;
 - б) выдачу учащимся карточек программированного опроса по текущей лабораторной работе.
4. Коллоквиум состоит из:
 - а) подготовки учащихся;
 - б) опроса учащихся (машинным или безмашинным методом);
 - в) фиксации преподавателем ответов учащихся.
5. Переход к выполнению лабораторной работы включает:
 - а) создание проблемной ситуации на уроке повторением целей и задач урока;
 - б) инструкцию по используемым приборам и аппаратам, по сборке цепи, информацию о величине напряжения источников питания в данной лабораторной работе.
6. Сборка цепи состоит из:
 - а) выбора приборов и аппаратов;
 - б) сборки цепи.
7. Включение цепи.
8. Проведение эксперимента.
9. Частичная обработка полученных результатов.
10. Контроль руководителем результатов эксперимента и отметка о проделанной работе.
11. Уборка рабочего места.
12. Проверка отчета за прошлую лабораторную работу.
13. Подведение итогов.
14. Задание на дом.

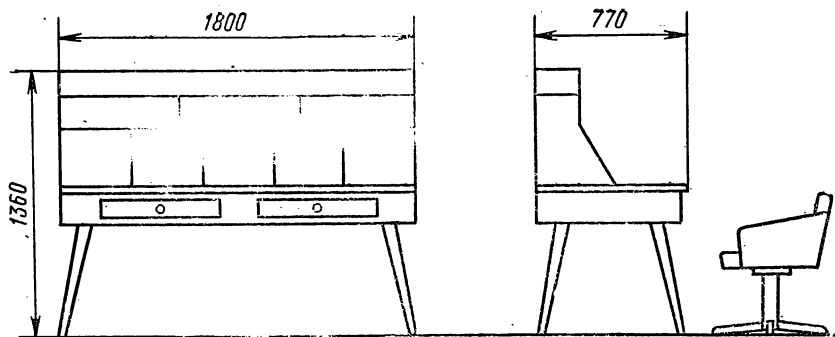
§ 4.5 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

К лабораторному стенду предъявляют следующие требования:

1. Безопасность эксплуатации.



Puc. 4.1



Puc. 4.2

2. Наглядность.
3. Надежность.
4. Использование стандартного оборудования, обеспечивающего минимальную токовую нагрузку.
5. Внешний вид, отвечающий современным требованиям эстетики. Мягкие цветовые тона средней части спектра. Функциональная окраска.
6. Покрытие, отвечающее требованиям гигиены, обеспечивающее легкую смываемость следов карандаша, чернил, пасты.
7. Достаточная прочность и жесткость конструкции.
8. Технологичность изготовления.
9. Длительный срок службы.

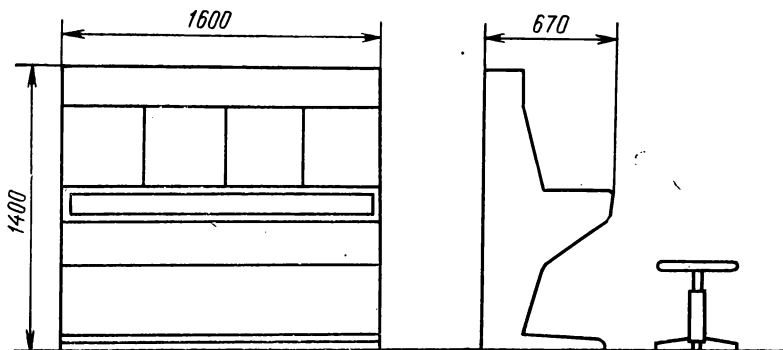


Рис. 4.3

Лабораторный стенд может иметь металлический сварной каркас, но крышку стола, выдвижные ящики, панели, боковые и задние стенки лучше изготавливать из изоляционных материалов (рис. 4.1, 4.2, 4.3). Чтобы обеспечить электробезопасность при эксплуатации, стенд заземлять не следует.

Стенд может быть деревянным, с пластиковой облицовкой (рис. 4.4).

Съемные панели или выдвижные ячейки облегчают нахождение неисправностей, ремонт или замену аппаратуры. В случае необходимости замена одной работы другой возможна с самой минимальной затратой труда и средств. Часть панелей (ячеек), которые редко применяются, лучше хранить в шкафах и устанавливать только тогда, когда это требуется. Габариты такого стенда могут быть существенно уменьшены.

Все щитовые приборы и большинство аппаратов закрепляют на передних панелях. Остальные аппараты размещают на верхней и боковых крышках стенда, в полости, образованной передними панелями и задней стенкой.

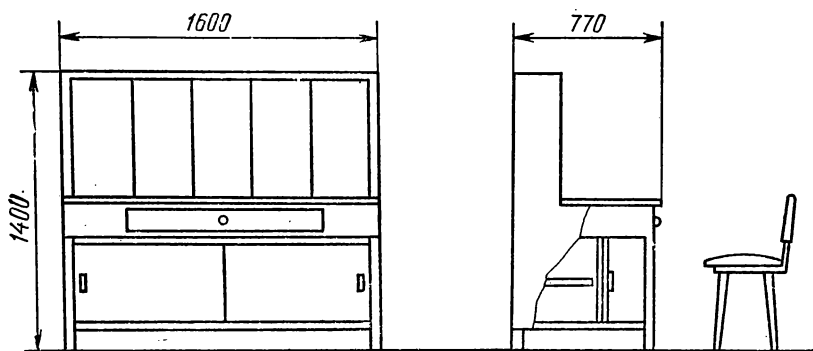


Рис. 4.4

Стенд может иметь местное освещение. Соединительные провода оснащены наконечниками, а приборы и аппараты — клеммами. Можно использовать втулки-гнезда и провода со штекерами.

Центральная панель стенда является блоком питания и присоединяется к трехфазной сети с напряжением 127/220 В (рис. 4.5). Блок питания позволяет получить следующие напряжения:

1. Трехфазную систему нерегулируемого напряжения с выведенным нейтральным проводом.
2. Однофазное переменное напряжение с регулировкой от 0 до 250 В.
3. Постоянное напряжение с регулировкой от 0 до 250 В.
4. Постоянное напряжение 36 В.

На панели блока питания установлена клемма, соединенная с нейтралью вторичной обмотки питающего трансформатора.

При включении каждого источника загорается соответствующая сигнальная лампа. Для ограничения тока лампы снабжены добавочными резисторами. Регулировка напряжения производится лабораторным автотрансформатором. С помощью специального двухполюсного переключателя можно переключать регулируемое

напряжение на клеммы переменного напряжения или через двухполупериодный полупроводниковый выпрямитель на клеммы постоянного напряжения. Выпрямитель собран по мостовой схеме и имеет сглаживающий конденсатор.

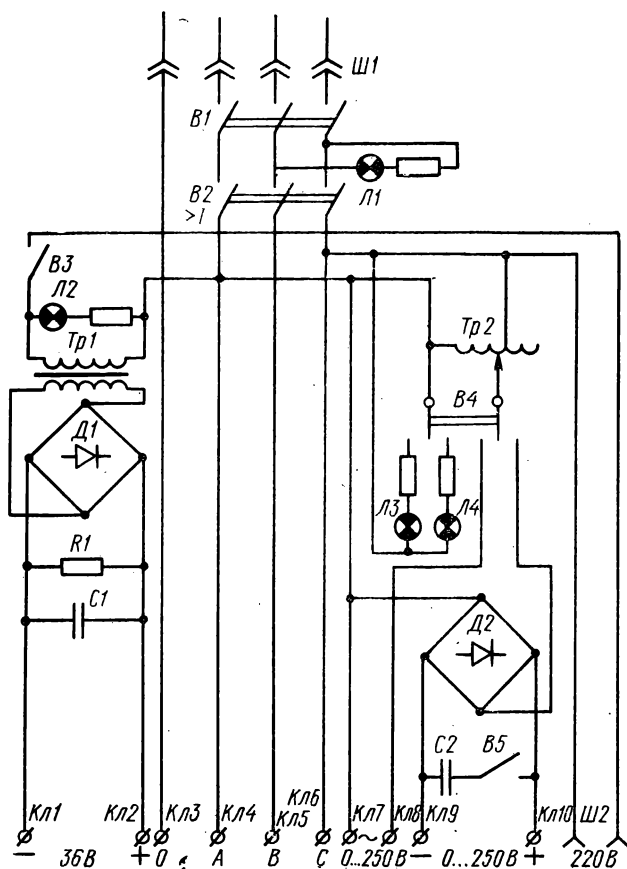


Рис. 4.5

Точно такой же выпрямитель с фильтром подключен к выходу однофазного трансформатора. Кроме того, выходные клеммы шунтируются резистором. Таким образом, обеспечивается получение постоянного нерегулируемого напряжения 36 В.

Автоматический воздушный выключатель защищает стенд от коротких замыканий и перегрузок. Он включается в трехфазную сеть, удобен, надежен и выгодно отличается от предохранителей.

Блок питания снабжен розеткой для включения паяльника и электронных приборов.

Такое автономное питание позволяет широко использовать приборы и аппараты для различных лабораторных работ, а также дает возможность каждой бригаде работать независимо от других бригад, что повышает эффективность практических занятий.

ЛАБОРАТОРИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Отчет по лабораторной работе №

наименование работы

Работу выполнил уч-ся
гр. _____ бригады № _____

Работу принял с оценкой _____
преподаватель _____

ф. и. о.

дата

дата выполнения

Цель лабораторной работы _____

Приборы и оборудование

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики

Программа работы (кратко)
Электрическая схема опытов
Таблицы измерений и вычислений
Формулы и расчеты
Графическая часть
Выводы

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов Ф. Е. Теоретические основы электротехники. М., «Высшая школа», 1971 г.

2. Попов В. С. Теоретическая электротехника. М., «Энергия». 1970 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
ГЛАВА I. Методика выполнения лабораторных работ . . .	4
§ 1.1. Подготовка к лабораторным работам . . .	4
§ 1.2. Ознакомление и подбор электроизмерительных приборов и аппаратов	5
§ 1.3. Сборка электрической цепи	11
§ 1.4. Включение цепи и определение неисправностей	12
§ 1.5. Проведение опыта	14
§ 1.6. Составление отчета. Зачет	16
§ 1.7. Основные правила безопасности при работе в электротехнической лаборатории	17
ГЛАВА II. Описания лабораторных работ	20
Лабораторная работа № 1. Ознакомление с порядком выполнения лабораторных работ, аппаратурой и электроизмерительными приборами	20
Лабораторная работа № 2. Режимы работы источника электрической энергии	24
Лабораторная работа № 3. Построение потенциальной диаграммы	28
Лабораторная работа № 4. Изучение законов Кирхгофа	33
Лабораторная работа № 5. Последовательное и параллельное соединение резисторов . .	35
Лабораторная работа № 6. Смешанное соединение резисторов	40
Лабораторная работа № 7. Преобразование треугольника резисторов в эквивалентную звезду	44
Лабораторная работа № 8. Неразветвленная электрическая цепь с одним переменным сопротивлением	48
Лабораторная работа № 9. Изучение принципа наложения токов	51
Лабораторная работа № 10. Опытная проверка метода эквивалентного генератора . . .	53
Лабораторная работа № 11. Измерение потери напряжения в проводах	57

	<i>Стр.</i>
Лабораторная работа № 12. Испытание четырехполюсника	61
Лабораторная работа № 13. Опытная проверка расчета нелинейных цепей	67
Лабораторная работа № 14. Измерение магнитной индукции катушки индуктивности	71
Лабораторная работа № 15. Измерение магнитного напряжения	75
Лабораторная работа № 16. Исследование петли магнитного гистерезиса	78
Лабораторная работа № 17. Встречная э. д. с. в электродвигателе	83
Лабораторная работа № 18. Изучение коэффициентов амплитуды и формы кривой переменного напряжения	85
Лабораторная работа № 19. Последовательное соединение активного и реактивного элементов	90
Лабораторная работа № 20. Параллельное соединение активного и реактивного элементов	95
Лабораторная работа № 21. Резонанс напряжений	98
Лабораторная работа № 22. Резонанс токов	103
Лабораторная работа № 23. Измерение параметров индуктивно связанных катушек	108
Лабораторная работа № 24. Построение круговой диаграммы неразветвленной цепи	112
Лабораторная работа № 25. Построение круговой диаграммы разветвленной цепи	118
Лабораторная работа № 26. Трехфазная цепь при соединении потребителя звездой	124
Лабораторная работа № 27. Трехфазная цепь при соединении потребителя треугольником	130
Лабораторная работа № 28. Высшие гармоники в трехфазной цепи	134
Лабораторная работа № 29. Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитном сердечнике катушки	140
Лабораторная работа № 30. Изучение переходных процессов зарядки и разрядки конденсатора	143

ГЛАВА III. Карточки программированного опроса к лабораторным работам	148
ГЛАВА IV. Организация и оборудование лаборатории	190
§ 4.1. Методика лабораторных занятий	190
§ 4.2. Организация лабораторного занятия	192
§ 4.3. Зачет	193
§ 4.4. План лабораторного занятия	194
§ 4.5. Краткое описание универсального лабораторного стенда	196
Приложение	202
Литература	203

Цейтлин Л. С.

Ц 32 Руководство к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники. Учеб. пособие для техникумов. М., «Высш. школа», 1977.

206 с. с ил.

Книга предназначена для учащихся и преподавателей электрорадиотехнических специальностей техникумов в качестве учебного пособия к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники. Содержит методические указания учащимся по подготовке к лабораторным работам, по выполнению экспериментов, по обработке результатов опытов, карточки программированного опроса ко всем лабораторным работам, а также рекомендации относительно организации и оснащения лаборатории.

Ц $\frac{30306-227}{001(01)-77}$ 264—76

6П2.1

Лев Симонович Цейтлин

**РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ
ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Редактор Г. А. Сорокина
Переплет художника Ю. Д. Федичкина
Худож. редактор Т. М. Скворцова
Техн. редактор Л. А. Муравьева
Корректор М. А. Минкова

ИБ № 50

Сдано в набор 27/VIII 1976 г.
Подписано к печати 28/II 1977 г.
Формат 84×108/32. Бум. тип. № 3.
Объем 6,5 печ. л. Усл. печ. л. 10,92
Уч.-изд. л. 9,02 Изд. № ЭР-207.
Тираж 25 000 экз. Зак. 1298 Цена 30 коп.

План выпуска литературы издательства -
«Высшая школа» (вузы и техникумы) -
на 1976 г. Позиция № 264.

Издательство «Высшая школа»,
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 8
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР,
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли,
Хохловский пер., 7.

30 коп.

